Х. НУРИДДИНОВ,
Ж.Ж.КУЧКАРОВ

РАСЧЕТ КОМБИНИРОВАНОЙ ГЕЛИОСУШИЛНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СУШКИ ПЛОДОВО - ОВОШНОЙ ПРОДУКЦИИ.

Бухара -2022

МИНИСТЕРСТВО ВЫШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

БУХАРСКИЙ ИНСТИТУТ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДНЫМИ РЕСУРСАМИ НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ТАШКЕНТСКОГО ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Х. НУРИДДИНОВ, Ж.Ж.КУЧКАРОВ

Расчёт комбинированой гелиосушилной установки для сушки плодово - овошной прадукции.

Бухара -2022

В монографии приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по изысканию оптимальной вариант сушки плодо – овошной продукции. Проводится исследование особенностей протикания процесса сушки и параметров процесса в начальном, первом и втором периодах сушки.

Для научных работников, аспирантов и преподователей.

УДК 632.096

Ответственный редактор:

Кандидат технических наук М.Р.Назаров

Рецензенты:

Кандидат технических наук Н.Ф.Уринов

Доктор педагогических наук Х.О.Жураев

Бухара – 2022

ВВЕДЕНИЕ

Переработка плода - овощной продукции, в часности, сушка, позволяет не только сохранять их питательные качества и возможность круглогодичного потребления, но и существенно снижать потери продукции при их производства, хранении и перевозке [1.2]

В Республиках Средней Азии производят почти весь обьем кишмиша и более полвины сухофруктов из обшего их количества по СНГ [3]

В связи с мерами по дальнейшему развитию производства плодоовощной продукции значительно возрастает и производство сухофруктов и в первую очередь кишмиша. Для резкого увлечения производства сухофруктов важное значение имеет не только развитие сырьевой базы, но и разработка и применение новых, более эффективных способов и установок для сушки плодово - виноградной продукции.

Наиболее распространенным способом сушки в южных районах СНГ является способ воздушно – солнечной сушки. Недостатком этого способа является зависимость от метеорологических условий, снижение качества в связи с длительностью процесса сушки и необходимость дополнительной заводской обработки из-за загрязнения и запыления в процессе сушки. Воздушно – солнечная сушка требует достаточно больших площадей.

РАСЧЕТНО – ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ПЛОДОВ И ВИНОГРАДА

1.1. Расчетно – эксперименталное исследование процесса сушки плодов и винограда

Первий период сушки харпактеризуется постоянстом температуры материала или постояной скоростью сушки.

Основным технологическими задачами, которые необходимо решать здесь является обеспечение оптималности процесса с точки зрения обеспечения минимального времени сушки при минималных

энергетических затратах. Расчетное решение задачи в общем достаточно сложно и требует в принципе знаний всех теплофизических свойств материала, зависимости их от времени. В то же время, как видно из проведенного обзора литературы, при сушки плодов и овощей на практике имеются огроничения по температури нагрева, влажности воздуха и расходу энергии.

Отсюда следует, что ограничены и возможности оптимизации режимов сушки. Т.е. оптимизация процессов сушки должна проводиться в пределах изменения параметров, которые достаточно эффективно можно обеспечить на практике в гелиосушилных установках. В связи с этим при рассмотрении процессов сушки на первом этапе будем исходить из режимов сушки, которые имеют место на практике.

Для рассматриваемой нами задачи – разработка комбинированной гелио – тепловой сушилки- это режимы сушки при солнечной сушке и различных ее вариантах с исползованием дублера или комбинированной. С целью исследования процесса сушки и решения указанных выше задач быа разработана экспериментальная комбинированная солнечно – тепловая сушилка (рис.1), которая включала гелионагреватель, электрокалорифер, сушильную камеру и вентилятор марки ВО10 – У2 с потребляемой мощностью 33 Вт и производителностью 10 м^{3}мин. Мощность электрокалофера могла измениться от 0,2 до 1,6 квт.

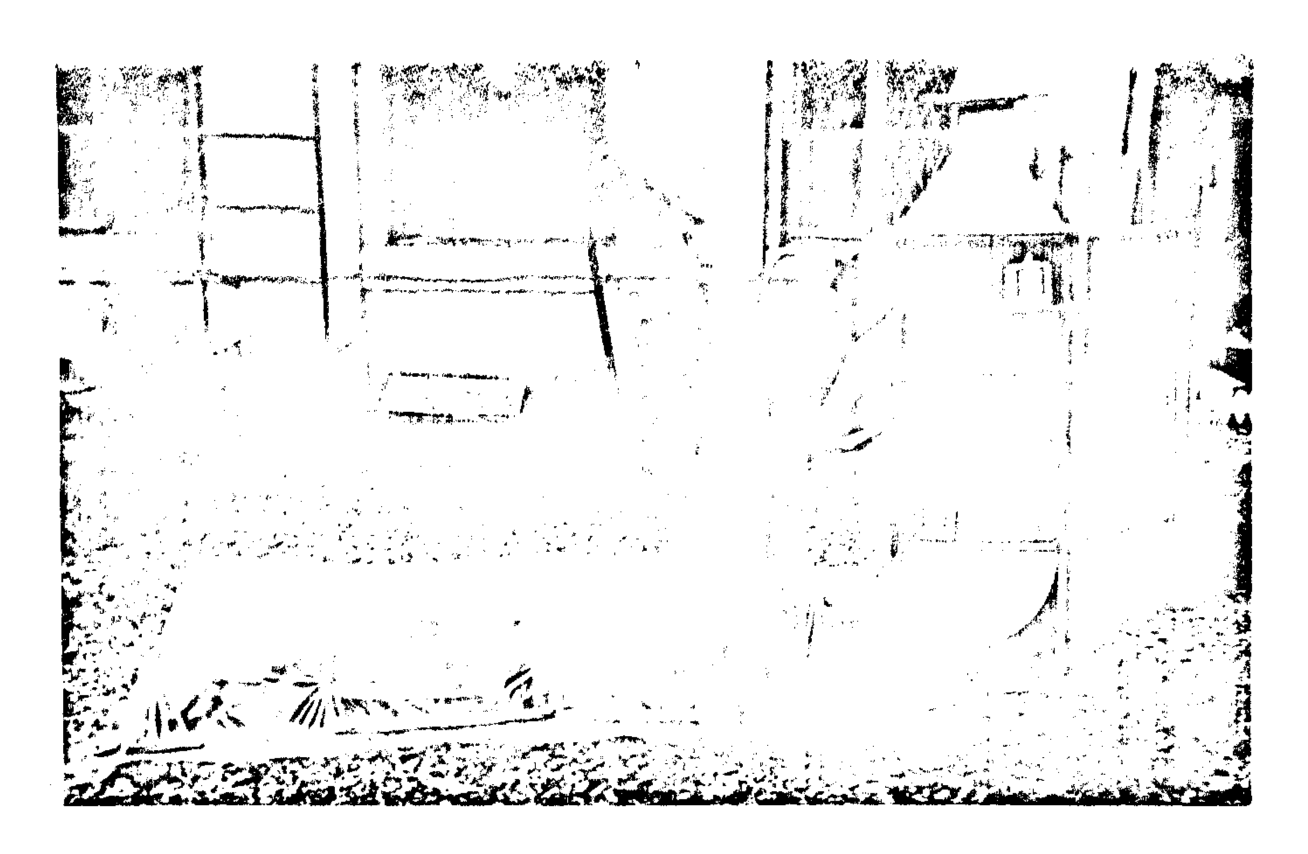


Рис.1 Экспериментальный образец комбинированной гелиосушилки.

На рис .2 приведена кривая сушки в комбинированной сушилке винограда (кишмиш черный) в конце августа месяца обработанного и необработанного. Там же для сравнения показаны кривые сушки винограда на открытой площадке.

На рис. 3 представлены параметры температурно- влажностнго режима в сушелке, а также параметры наружного воздуха. На основе результатов расчетав, полученных выше, был выбран следующий режим работы комбинированной сушилки- до 13^{30} шел прогрев камеры за счетестественной конвекции воздуха,нагреваемого в гелионагревателе,далее включаться вентилятор в осциллирующем режиме с периодом 30 мин до 19^{00},с 19^{00} включался электрокалорифер с Р = 0,8 кВт и вентилятор начинал работать непрерывно.

Для определения и следования скорости сушки необходимо представить указанные выше кривые изменения массы продукта в единцах ,отнесенных

к площоди поверхности продукта и времени,а тпкже действительные скорости обтекания продукта воздухом

В связи с этим рассмотрим объёмные и аэродинамические характеристики в слое продукта.

1.1.1. Объемные и гидродинамические характеристики слоя продукта.

Решение задач оптимизации режима сушки требует знания действительных скорестей сушки продуктов, скорестей движения воздуха в слое продуктов, потерь давления воздуха вслое,Для определения указанных параметров слоя продуктов были проведены расчетно-экспрементальные исследования. Целью исследовании дования являлось определение площади свободного сечения в слое продуктов, скорости движения воздухаи потери давления в слое.

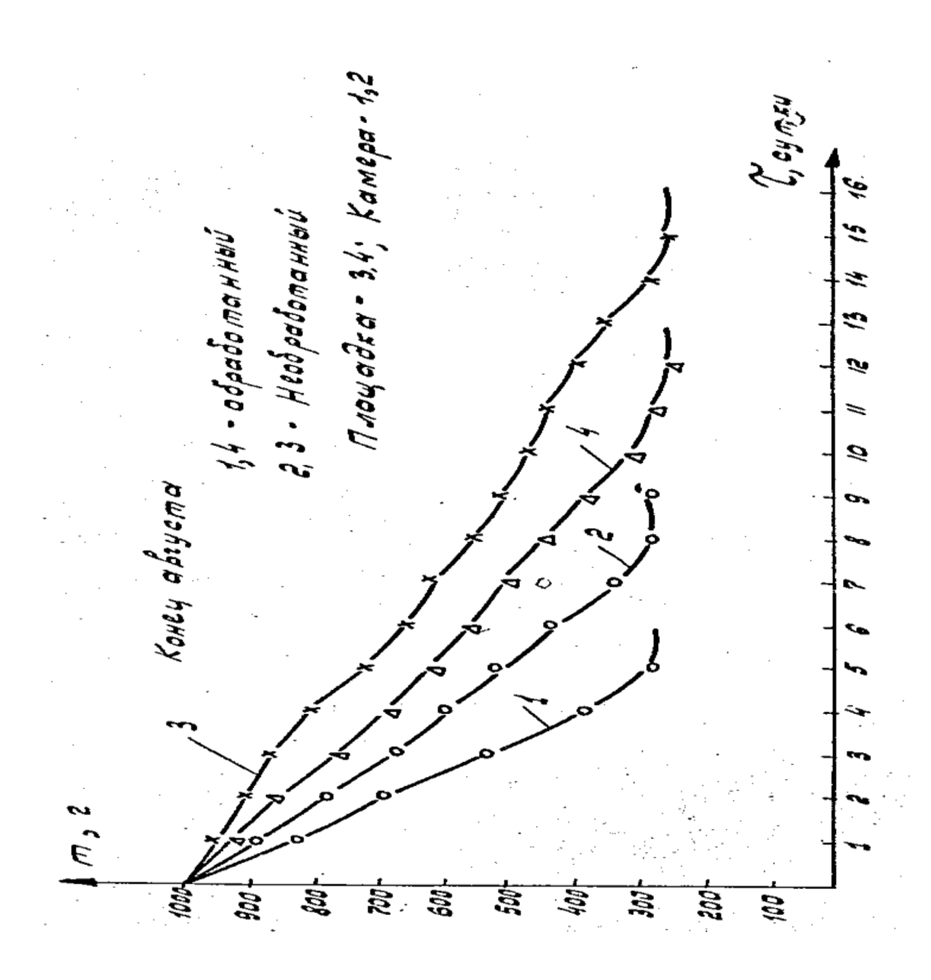
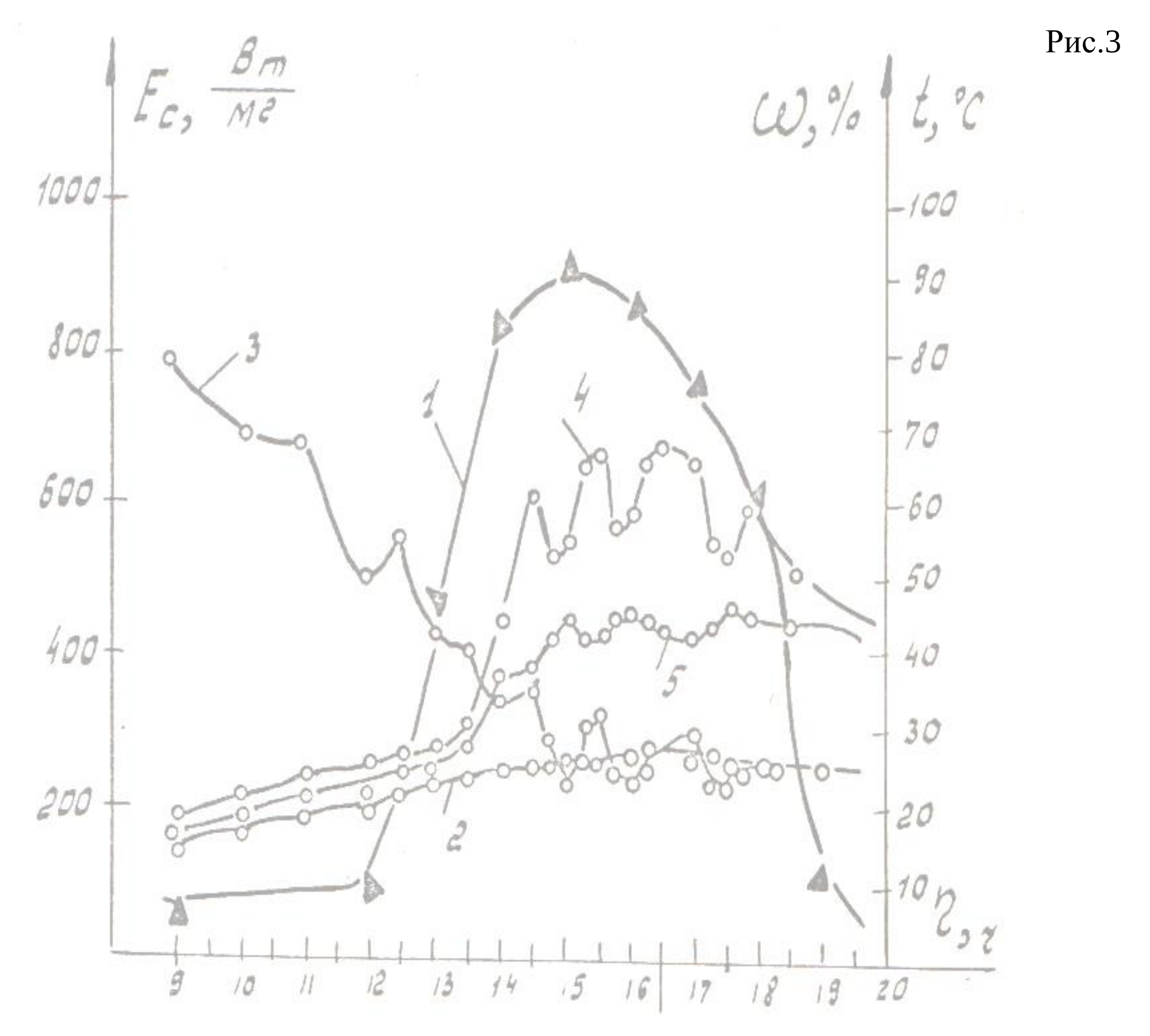


Рис.2 Кинетика сушки винограда кишмиш черный.

Рис.3



Температурно-влажностный режим в гелиосушилке;1.-солнечная радиация,1.-температура наружного воздуха,3-влажность в камере,4,5-температуры воздуха в воздухонагревателе и в камере(конец августа).

Указанные характеристики определялись на основе расчетного экспрементального исследования зависимости скорости воздуха $\omega_К$в камере от характеристик слоя продуктов-загрузка иколичество полок с продуктами, исследования объемных характеристик продукта. Схема расположения полок с продуктами в камере и их габаритные размеры приведены на рис. 4 а.результаты исследований для винограда сорта шеваргани (вес плода $m_В$=3…3,7 гр обьем $V_В$=1,7…2,9 см^3,средняя плотность $\rho_В$=1,5г/см^3 ,загрузка на полку -4…4,5 кг) приведены на рис.4 б.

Наоснове этих данных определим площадь сечения $S_С$ в слое продуктов.

Расмотрим в начала случай,когда в камере загружена продуктом одна полка.

При решении задачи приниамем следующие допущения:

-свободное сечение слоя представляет собой систему гладких параллельных цилиндрических каналов с эффективным диаметром d_kдлиной l_kравной толщине слоя продукта;

-характеристика вентелятора давление- расход описывается параболической кривой с поаказателем степени равным 2:

-реальная форма продуктов заменяется на шаровую с равным объемом и весом;

-местными сопротивления в камере пренебрегаем.

С учетом указанных допущений имеем следующую систему уровнений.

Объемный расход в камере L равен суммарному объемному расходу воздуха в каналах, или

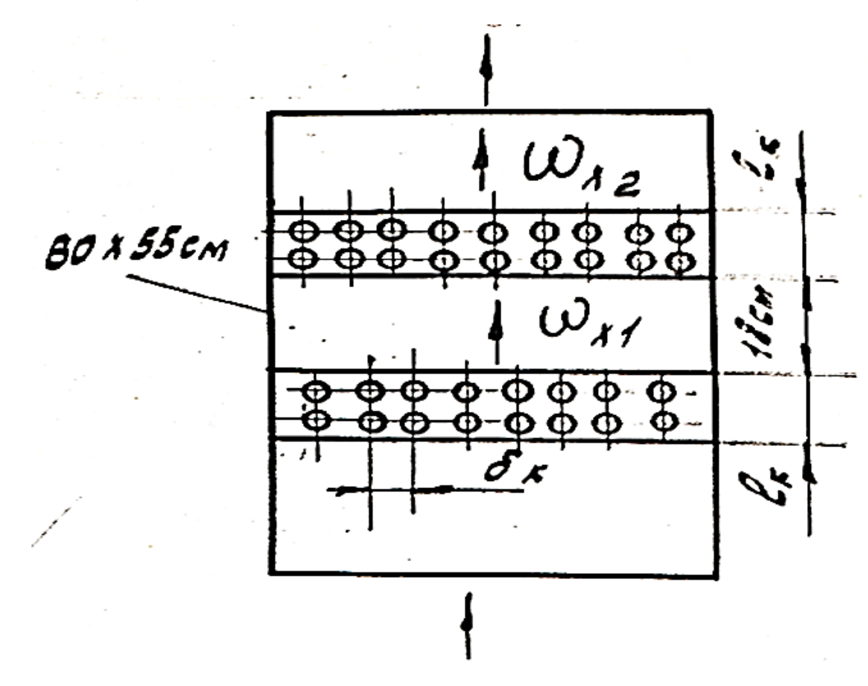


Рис.4а Схема расположения полок

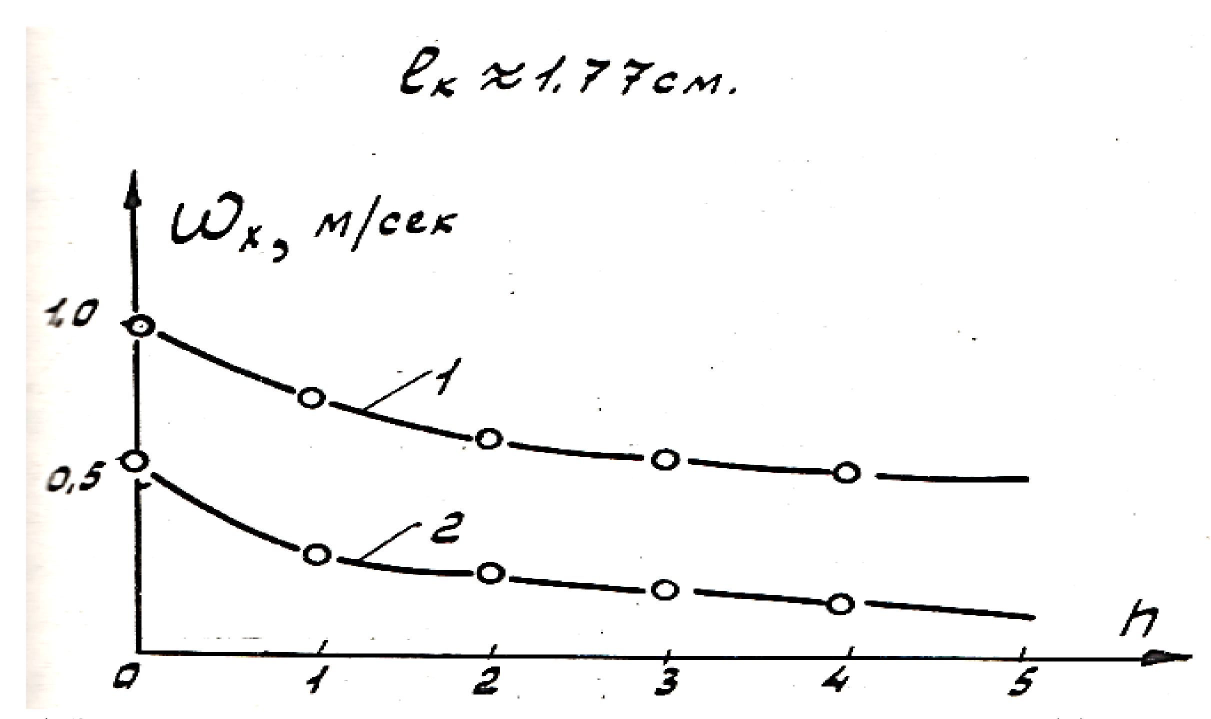


Рис.4 б Зависимость скорости воздухав камере от числа полок (n) с продуктом ;I-полные и 2- малые обороты вентелятора (тип ВО10-У2,34 Вт)

$$L = \omega \cdot s = \omega_K \cdot S_k \cdot n \qquad (1.1)$$

Где ω -скорость воздуха в камере сечени S ем ω- скорость воздуха в отдельном канале сечениеи S_K, n число каналов в слое.

Потери давления в канале ΔP определеяются по формуле[4]

$$\Delta P = \lambda \frac{l_k}{d_k} \cdot \rho \frac{\omega_k^2}{2} \qquad (1.2)$$

Где λ –коэффицент сопротивления трения, ρ-плотность воздуха ,d_k диаметр канала.

Коэффицент λ-может быть определен по известным формулам, в зависимости от геометрии канала и числе Рейнольдса [5] С учетом принятых выше допущений,можем также записать,что суммарный объем каналов в слое высушиваемого продукта равен

$$V_{K\Sigma} = S_k \cdot l_k \cdot n \qquad (1.3)$$

Общее падения давления в слое может быть определенопо формуле [7]

$$\Delta P_{\Sigma} = K(L_0^2 - L^2) \qquad (1.4)$$

Где К коэффицент кривой вентелятора, L_0 - объем расход воздуха в пустой камере м^3/ч, L- объемный расход воздуха загруженной камере

При параллельном соединении каналов падение давление в каждом канале ΔP постояннои равно суммарному падению давления в слое продуктов ΔP_{Σ}

Изхарактеристик вентелятора (N=0,034 кВт, ɳ=0,48)

измеренного расхода воздуха в пустой камере_L_0=0.33 м^3/с

следует, что начальгое давление P=50 Па, откуда следует, что коэффицент кривой расхода вентелятора К равен

$$К=\frac{P}{L_0^2}=\frac{50\ Па}{1188м^2/ч}=3,54\cdot10^{-5}Па.ч/м^3$$

Для одного слоя продуктов (см.рис. 4 б) имеем L· S· ω 3600=926 м^3/ч и из (1.4) следует , что суммарное падение давления воздуха в слое продукта равно

$$\Delta P_{\Sigma} =3.54 \cdot 10^{-5} (1.41\cdot10^6 -0,857\cdot10^6) = 19.1\ Па$$

Определим теперь свободный объем слоя $V_{к\Sigma}$· Схема расположения винограда в слое,с учетом принятых выше допущений ,представлена на рис.5, где a, b -размеры сечения камеры, l_K высота слоя.

Рассмотрим в начала один слой винограда и определим площадь свободного сечения $S_{K\Sigma}$,Из.рис.12 следует, что свободная площадь сечения $S_{K\Sigma}$ равна

$$S_{K\Sigma} = S_{сеч} - S_{пр} \qquad (1.5)$$

Где $S_{сеч}$- полная площадь сечения полки, равная плошади сечения камеры $S_{K\Sigma} = a \cdot b$, $S_{пр}$- площадь сечения полки,занимаемая виноградом.

Из схемы расположения продукта в слое (рис.12) можем записать

$$S_{np} = S_r \cdot m_a \cdot m_b \qquad (1.6)$$

Где S_r площадь сечения отдельного продукта,равна πr^2 (r - эффективный радиус продкта, r=$\sqrt{3 \cdot V/(4\pi)}$, где V- средний объем одного продукта);m_a, m_b - количество единиц продукта по ширине (a) и (b) камеры. Из определения m

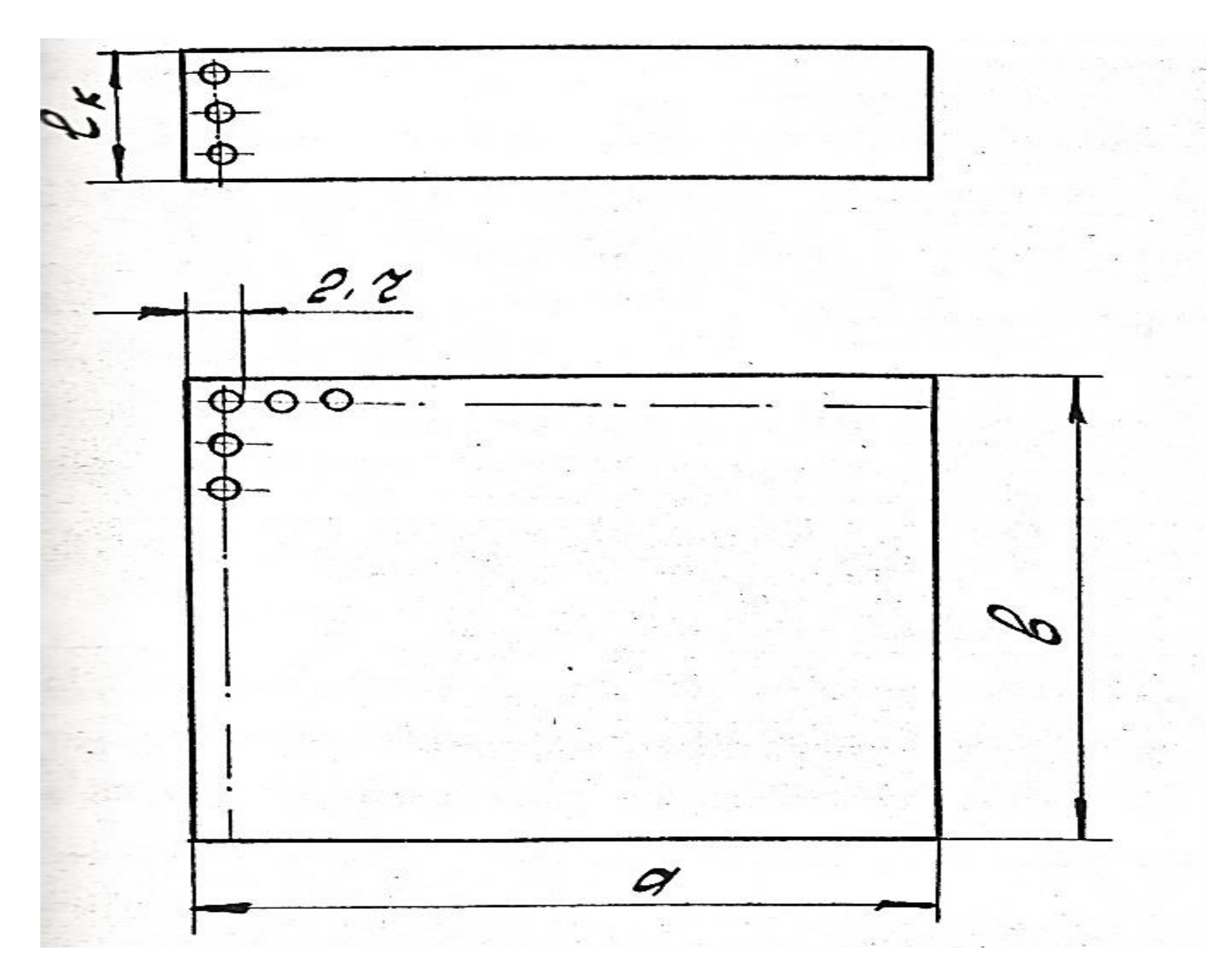


Рис.5 К определению свободного объема в слое продукта.

следует, что $m_a = \frac{a}{2r}, m_B = B/(2r)$.или

$$S_{K\Sigma} = a \cdot b - \pi r^2 \cdot \frac{a}{2r} \cdot \frac{B}{2r} = a \cdot b(1 - \frac{\pi}{4}) \qquad (1.7)$$

Из (1.8) следует, что площадь свободного сечения слоя не зависимост от абсюлютного радиуса плода и составляет 21,5 % от сечения камеры.

Определим теперь объем свободного сечения $V_{K\Sigma}$. По аналогии с методикой определения свободного сечения $S_{K\Sigma}$ имеем

$$V_{K\Sigma} = V_C - V_{\text{пр}}$$

Где V_c- полный объем слоя , $V_C = a \cdot b \cdot l$ $V_{\text{пр}}$ -объем, занимаемый продуктом в слое.

Учитывая, что $V_{\text{пр}} = V_r \cdot m_a \cdot m_b \cdot m_l$ - где $V_c = \frac{4}{3}\pi r^3$ получия

$$V_{K\Sigma} = V_C - V_{\text{пр}} = a \cdot b \cdot l(1 - \frac{\pi}{6}) \qquad (1.8)$$

Из (2,32) следует, что объем, занимаемый продуктом в слое,$V_{\text{пр}}$,а следовательно также и свободный объем $V_{\text{к}\Sigma}$ не зависят от размера отдельного продукта и составляют соответственно 52,3% и 47,6% от полного объема слоя. Зная общий вес продукта и его плотность можем определить объем,занимаемый продуктом

$$V_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{пр}}}{P} = \frac{4500\text{г}}{1,5\ \text{г/см}^3} = 3000\ \text{см}^3$$

Эффективная длина (тольщина) слоя продуктов , как следует из (1.8) равно

$$l = \frac{V_{\text{пр}} \cdot 6}{\pi \cdot a \cdot b}\ 1,74\ \text{см}$$

Полный объем слоя $V_{\text{сл}}$ равен $a \cdot b \cdot l$=60см·55 см· 1,74 см =5729 см^3 и свободные объем $V_{\text{к}\Sigma}$ равен

$$V_{\text{к}\Sigma} = a \cdot b \cdot l(1 - \frac{\pi}{6} -) = 5729,5\ (1-0,4764) = 2729\ \text{см}^3$$

С другой стороны можем записать,что

$$V_{к\Sigma}= S_K \cdot l_K \cdot n \qquad (1.9)$$

Из (2,25) и(2,33) можно определить скорость движения воздуха в канале ω_K

$$\omega_K = \frac{\omega \cdot S_k}{V_{K\Sigma}} \cdot l_K \qquad (1.10)$$

Анализ показал ,что выражение (1.10) более применимо ,когда имеем несколько слоев продукта на одной полке. В случае, когда имеем один слой прдукта более правильно находить скоресть движение продуктапо свободному сечению $S_{к\Sigma}$.

Подставлял в (2.25) значение $S_k \cdot n$ равное $S_{к\Sigma}$. Получаем

$$\omega_k = \frac{\omega \cdot s}{S_{K\Sigma}} = \frac{\omega \cdot a \cdot b}{a \cdot b(1 - \frac{\pi}{4})} = \frac{\omega}{(1 - \frac{\pi}{4})} \qquad (1.11)$$

Из (1.11) следует,что независимо от рамеров имеет место постоянство отношения скоростей в камере и канале для случая одного слоя продукта.При W=0,78 м/с (один слой) получим

$$\omega_K=0{,}78 \cdot 0{,}215=3{,}63 \text{м/с}.$$

Из геометрических соотношений мы можем также определить эффектывный диаметр канала d_k и число каналов в слое n.

Из рис.5 следует,что общее число каналов в одном слое продукта равно.

$$n=n_1 + n_2 + n_3 + 2\big((m-1) + (n-1)\big) + (m-1)(n-1) \qquad (1.12)$$

Как следует из рис.5 имеем три типа каналов (n_1,n_2,n_3,) площади которых относятся как 1: 2: 4:. При m, n>30 из (1.12) следует,что пренебрежение каналами типа n_1, и n_2, внесет погрешность не превывающую 1,5-2% таким образом

$$n = (m-1)(n-1) \qquad (1.13)$$

$$S_к = \frac{S_{K\Sigma}}{n} = \frac{a \cdot b(1-\frac{\pi}{4})}{(m-1)(n-1)} \qquad (1.14)$$

Подставляя вместо m и n их значения (m=a/2r,n=b /2r) и учитывая,что $S_K = \pi d_K^2/4$ получим

$$d_k \cong d_{пр} \cdot 2\sqrt{\frac{(1-\pi/4)}{\pi}} = 0.522 \cdot d_{пр} \cdot \sqrt{2} \qquad (1.15)$$

Если определять d_k по формуле $d_K = 4S_k/U$ (S_k-площадь и U-пример канала) , то

$d_K = 0.271 \cdot d_{пр}$

Подставляя в (2.37)и (2.39) значения $d_{пр}$=1,6 см , α=60см

B=55 см получим

$$n = (\frac{a}{d_{пр}} - 1)(\frac{B}{d_{пр}} - 1) = 1218$$

Если по формуле $d_{ЭКВ} = \frac{4S_k}{U}$, то $d_{ЭКВ} = 0.271 \cdot d_{пр}$

d_K =0,522·1,6=0,592 см

$d_{КЭ}$=0,271·1,6=0,434 см

На основе полученных данных может быть расчетным путем из (1.15) определено падение давления ΔP в слое.

В (1.16) входит коэффицент трения λ, значение которого в зависимоти от числе **Re** равно

$$\lambda = 0{,}3164/Re^{0.25},$$

при $Re > 3 \cdot 10^3 \ldots 1 \cdot 10^5$

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \qquad при\ Re < 3 \cdot 10^3 \qquad (1.16)$$

Для полученных значений ω_k и d_k при кинематической влажности воздуха V=19·10^-6 мг/с,число Re равно Re=0,592·10^-2·3,63/19 ·10^-6=1131.

Считая,что свободное сечение состоит из цилиндрических каналов и поставляя полученные значение параметров в (1.2) получим

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{l_k}{d_k} \cdot P\,\frac{\omega_K^2}{2} = 1.3\ Па$$

Для $d_{KЭ}$ ΔP=2,42 Па

Это существенно отличается от экспрементальных значений отсюда следует,что сопротивление в свободном сечении слоя местные.

В первом приближеники,потом воздуха проходит изкамеры площадь сечении S,через диафрагму площадь Sg и далее опять через камеру площодью S. Так как в литературе имеются выражения только для отдельной диафрамы,то будем считать , что полощади S и Sg представяют суммарное площади камеры S и свободного сечения ($S_{к\Sigma}$.) или учитывая [19] .где ξ_M относено к скорости воздуха в камере

$$\xi_M = \xi_{cm}\left(\frac{S_{K\Sigma}}{\varepsilon \cdot S}\right)^2 + K\left(\frac{S}{\varepsilon \cdot S_{K\Sigma}} - 1\right)^2 \quad (1.17)$$

В первом приближении в (1.17) принимают,что $\xi_{cm} = 0$; К≈ 1,

Или учитывая, что $S_{/S_{K\Sigma}} = {}^1/0{,}215$

$$\xi_M = \left(\frac{1}{0.215 \cdot 0.616} - 1\right)^2 \cong 43$$

Падание давления ΔP при местных сопротивлениях в общем случае равно

$$\Delta P = \xi_M \cdot \rho\,\frac{\omega^2}{2} \quad (1.18)$$

ρ

Подставляя в (2,42) значения ρ =1,2 кг/м^3, ω=0,78 м/с

Получим ΔP=15,7Па Эта значение ΔP существенно ближе к экспрементальный ($\Delta P_э$=19Па). Погрешонность обусловлено в основном тем, что в расчете принято,что продукты расположены в один слой.

Определим теперь из условия баланса расхода воздуха в камере и слое (1.1) эффектывную скорость движения воздуха в каналах $\omega_к$

$$\omega_к=\frac{\omega \cdot S}{S_k \cdot n} = \frac{0.78 \cdot 3300 \cdot 4}{1218 \cdot 3.14 \cdot 0.592^2}=3,8 м/с$$

для $d_{КЭ} + 0.271 \cdot d_{пр}$ =0,434см

$\omega_{КЭ} = 14.3$ м/с

Значение ω=3,8 м/с характеризует среднюю скорость в канале, а $\omega_{к\ э}$- максимальную в наименшем сечении.

Отсюда следует ,что число Re в слое имеет значение от 2400 до 3200,т.е. характер движения воздуха в каналах можно считать близким к ламинарному.

И окончательно полная площадь поверхности слоя прдукта равна.

$$S_{пп} = 4\pi r_{пр}^2 \cdot \frac{P}{m_{пр}} = 4\pi(\frac{3V_{пр}}{4\pi})^{2/3} \cdot \frac{P}{m_{пр}} \approx 11200 см^2$$

Полученные параметры позволяеют определят истинные скорости сушки продукта в одном слое продукта,что обычно имеет место на практике.

Рассмотрим теперь случай,когда в камере находится две полки продуктами

(ω_2=0,65 м/с)

Общее падение давления $\Delta P =$ равно (см, 1.4)

$$\Delta P_2 = K(L_0^2 - L_2^2)$$

где К =3,54·10^{-5}Па· ч/$м^3$; L_0=S·ω_0 3600=1113 $м^3$/ч; или

$$\Delta P = \cong 28,8 \text{ Па}$$

Если рассматривать сопротивления в каждом слое местный ,то расчетное значение $\nabla P_{2р}$ равно

$$\nabla P_{2р}=2\cdot \xi_M \cdot p\frac{\omega_2^2}{2}=21,8 \text{ Па}$$

т.е. расчеты и экспременты с учетом приятых допущений совпадают (погрешность в определнии скорости в 0,1 м/с прводик погрешности определения ∇P в 33%).

Для трех слоев (ω_3=0,62м/с)

$$\Delta P_{3э}=K((L_0^2 - L_3^2) = 3.54\cdot 10^{-5}(1.41\cdot 10^6 - 736.6^2) = 30.7 \text{Па}$$

а расчетное значение ΔP_3 ($\Delta P_{3р}$) равно

$$\Delta P_{3р}=3\cdot \xi_M \cdot p\ \frac{\omega_3^2}{2}=29,75 \text{ Па}$$

Для четырех полок из графика ω_4=0,58 м/с, или

$$\Delta P_3=K(L_0^2 - L_4^2)=3.54\cdot 10^{-5}(1.41\cdot 10^6 - 689^2)=33 \text{Па}$$

Расчетно значение $\Delta P_р$ равно

$$\Delta P_p=4\xi_M \cdot P\ \frac{\omega_4^2}{2}=4.34\cdot 1.2\ \frac{0.336}{2}=34,7 \text{ Па}$$

Для пяти слоев (ω_5=0,54 м/с), или

$$\Delta P_3=K(L_0^2 - L_5^2)=3.54\cdot 10^{-5}(1.41\cdot 10^6 - 641,5^2)=35.34 \text{Па}$$

$$\Delta P_p=5\xi_M \cdot P\ \frac{\omega_5^2}{2}=5.43\cdot 1.2\ \frac{0.54^2}{2}=37,6 \text{ Па}$$

Скорость движения воздуха в одном слое продукта ,как было показано выше не зависит от размера продукта ,учытивая ,что формулам для местных сопротивлений, будем считать что также и формула (1.11)

Результаты расчетно –экспрементальных исследований показали возможность определения тстинной скорости сушки различных продуктов а также определяетьнеобходимо число полок с продуктами ,использовать полученные зависимости для гидравлического и теплового расчета сушилок.

1.1.2. Расчетно экспрементальные исследования прцесса сушки плодов и виноградова в первом периоде.

Знание скорости сушки зависимости ее от температуры и влажностных параметров теплоносителя и свойств теплоносителя и свойств продукта позволяет не только правильно подбирать режими сушки ,но и обеспечиватьнаиболее экономичное прведенепроцесса сушки в различных типах сушильных устанрвок и что особенно важно в комбинорованных установках .Эта обсловлено тем ,что в гелио тепловых сушилках достаточно сложно обеспечить постоянства режима сушки.

В общем случае скорость сушки N или скорость испарения влаги из продукта определяется в виде:

$$N=\frac{1}{S}\cdot\frac{\Delta m}{\Delta T}\left[\frac{\text{КГ}}{\text{М}^2\cdot\text{Ч}}\right] \qquad (1.19)$$

где Δm изменение массы продукта за время ΔT ,S-площадь поверности продукта.

Определение скорости сушки N , и привязка ее к параметрам прцесса сушки (температура - t_Γ вложность - y_Γ , скорость движения теплоносителя -ω_T и влажность продукта -ω_n)

И к плошади поверхности продукта.S,изменяющейся во времени ,достаточно сложная задача требующая проведения специальных ,детальных исследований.

Одноко даже в этом случае ,эти результати могут быть толко первым поиблежением к реальным процессом сушки. В реальных процессах сушки имеет место существенное изменение параметров процесса как в самой установке ,так и во времени.

Отсюда следует ,что исследование скоростей сушки необходимо проводитьв первую очередь в условиях ,которые достаточно близки к реальным.

В связи с этим нами исследования в определению скоростей сушки различных плодов и винограда проводились режимах достаточно полно воспроизводящих реальное условия при сушке этих продуктов (см 2.2) в сельскохозяйственных районах Узбекистана .Исследование в указанных режимах необходимо также для обеспечения экономии энергии,особенно для комбинированных гелиосушельных аппаратов .Это связано с тем ,что цель применения комбинированных сущилок увеличение производителности при незначительном увеличении расхода энергии .

На основе рассмотренных выше особенностей нами были проведены исследования по определению скоростей сушки различных плодлв и винограда в комбинированной гелиотепловой сущилке.

Характерные температурно- влажностьные режимы в камере комбинированной сушилки и на откритом воздуха приведены на рис 13. Рассматрим подробно особенности методики и результаты определения скоростей сушки винограда, абрикоса и вишни. Исследования проводилось как указано выше в условиях близких реальным .Сравнение проводилось с солнечной сушкойпродуктов на открытой площадке. В результате экспрементов.

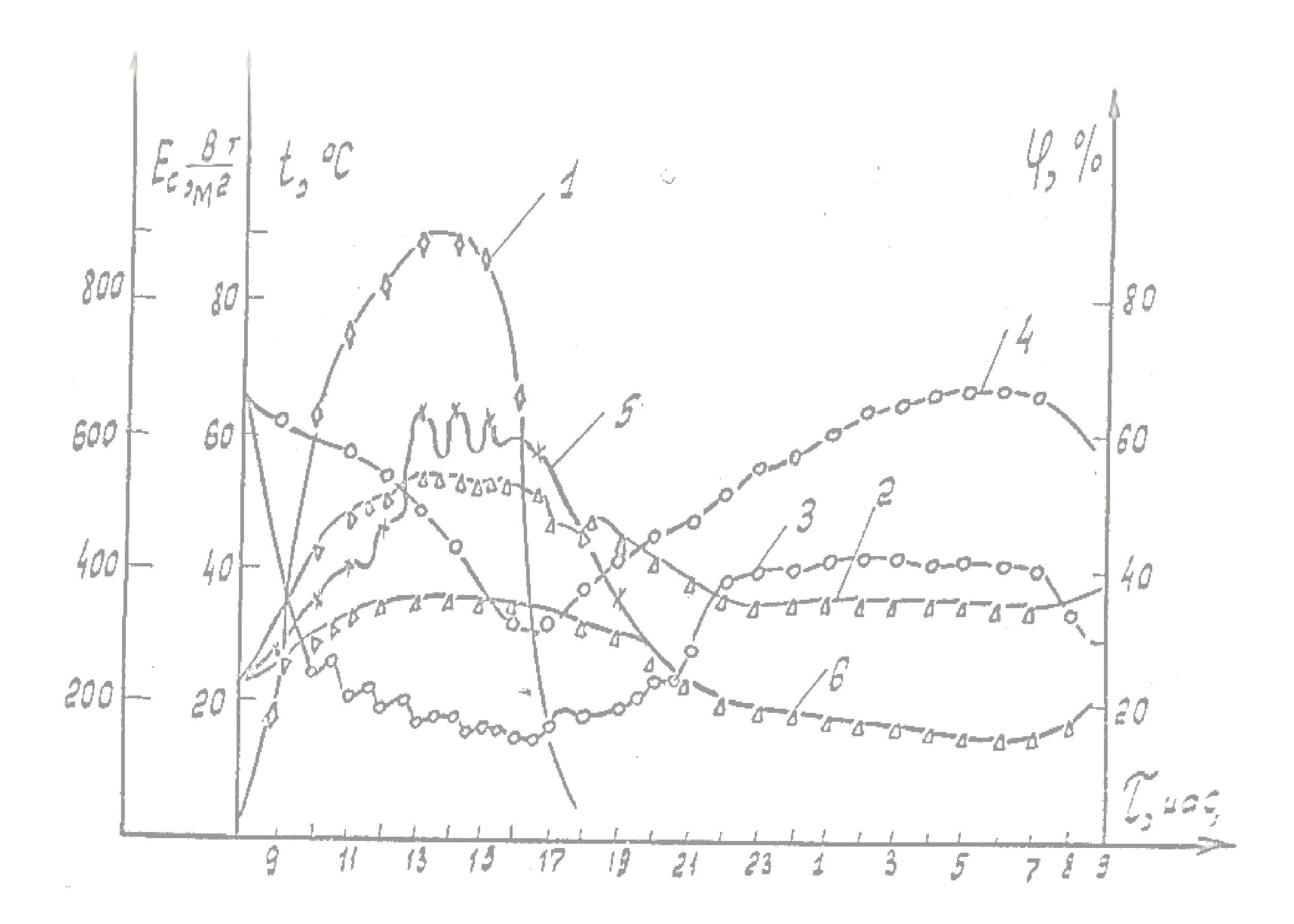


Рис: 6 Температура –влажностей рехим в комбинированной гелиотепловой сущилке:1-солнечная радиация ,2- температура и 3 влажность воздуха в камере,4- влажность и 6 – температура наружнога воздуха, 5- температурп в гелионагревателе контролировались массо- габаритные параметрыпродукта.

На основе экспрементальных данных были определены относительная скорость сушки N^i (N^i=N·S), а также изменение влажности ω и влагасодержания U в продукте. Обработка данных провадилось по общепринятым формулам

$$N^i = \frac{\Delta m}{\Delta \tau}\left[\frac{\text{кг}}{\text{ч}}\right] \qquad (1.20)$$

$$\omega = \frac{m_b}{m_b + m_c}$$

При периодических изменениях в процессе сушки

$$\omega = \frac{(m_{BH} - \Sigma_{\Delta m})}{(m_{BH} - \Sigma_{\Delta m}) + m_c} \qquad (1.21)$$

Где $m_{вн}$- начальное содержание воды в пордукте.

$m_с$ - содержание сухого вещества.

Начальное значен е массы воды $m_{вн}$ и сухого вещества $m_с$ определялась из усредненных значений начального и конечного значений начальгого и конечного значений влажности.

$$\omega = \frac{U}{100+U} [\%] \text{ или } U = \frac{\omega}{100-\omega}, \% \qquad (1.22)$$

Проведем анализ для наиболее характерных продуктов винограда, абрикоса и вишни. На основе выше указанных условий была исследована кинетика сушки разлмчных плодов и винограда в различных режимах.

На рис 7 а приведены кривые изменииня массы винограда кишмиш черный в процессе сушки на открытом воздуха (1) и в камере комбинированной сущилке. Удельные нагрузки на 1 м^2 площади составляли для винограда на открытом воздухе 10-12 кг и в камере до 21 кг Усреднение значение массы ,габаритов и влажности винограда – кишмиш черный в начале и в конце сушки приведены в таблице 1.

Таблица 1

Период	Размеры см	Масса г	Влажность, %	Площадь, см^2	Объем,см^3	Плотность,г/см^2
Начало сушки	e=1,75 d=1.35	2.15	79	7.41	1.86	1.156
Окончание сушки	e=1.3 d=0.75	0.55	19.2	3.06	0,463	1,188

На основе экспрементальных данных по формулам (1.20)-(1.22) были рсчитаны для винограда текущие значения N^i. ω. U таб,3).

На рис.7б представлены относительные скорости сушки N^i винограда на открытой площадке и в камере ,в зависимости от относительного влагосодержания $\overline{U}$ ($\overline{U} = U - {}_{U_0}$) ,Там же приведена для сравнения временные характеристики процессов в камере и на плошадке.Анализ кривых относительных скорести сушки N^i на рис.14б показывает ,что и для случая переменных условий для интервала времени ΔT в один сутки можно наблюдать достаточно четко,отделные периоды сушки –первый 9постоянно скорости) ,второй и третый периоды –убы вающей скорости сущки.Указанные границы различных периодов сущки получены для относительной скорости N^i .для действительных склоростей сушки

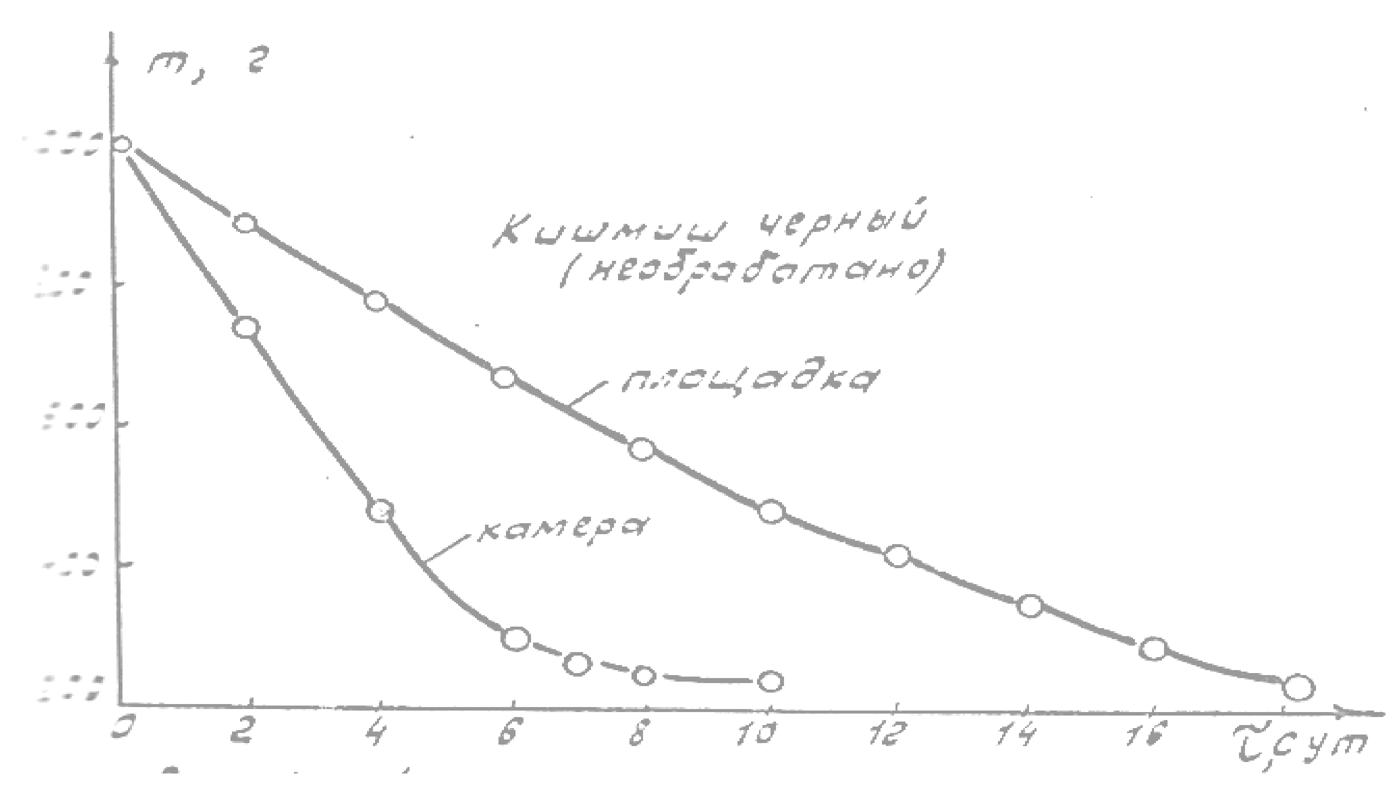


Рис. 7а Усредненая кривая сушки

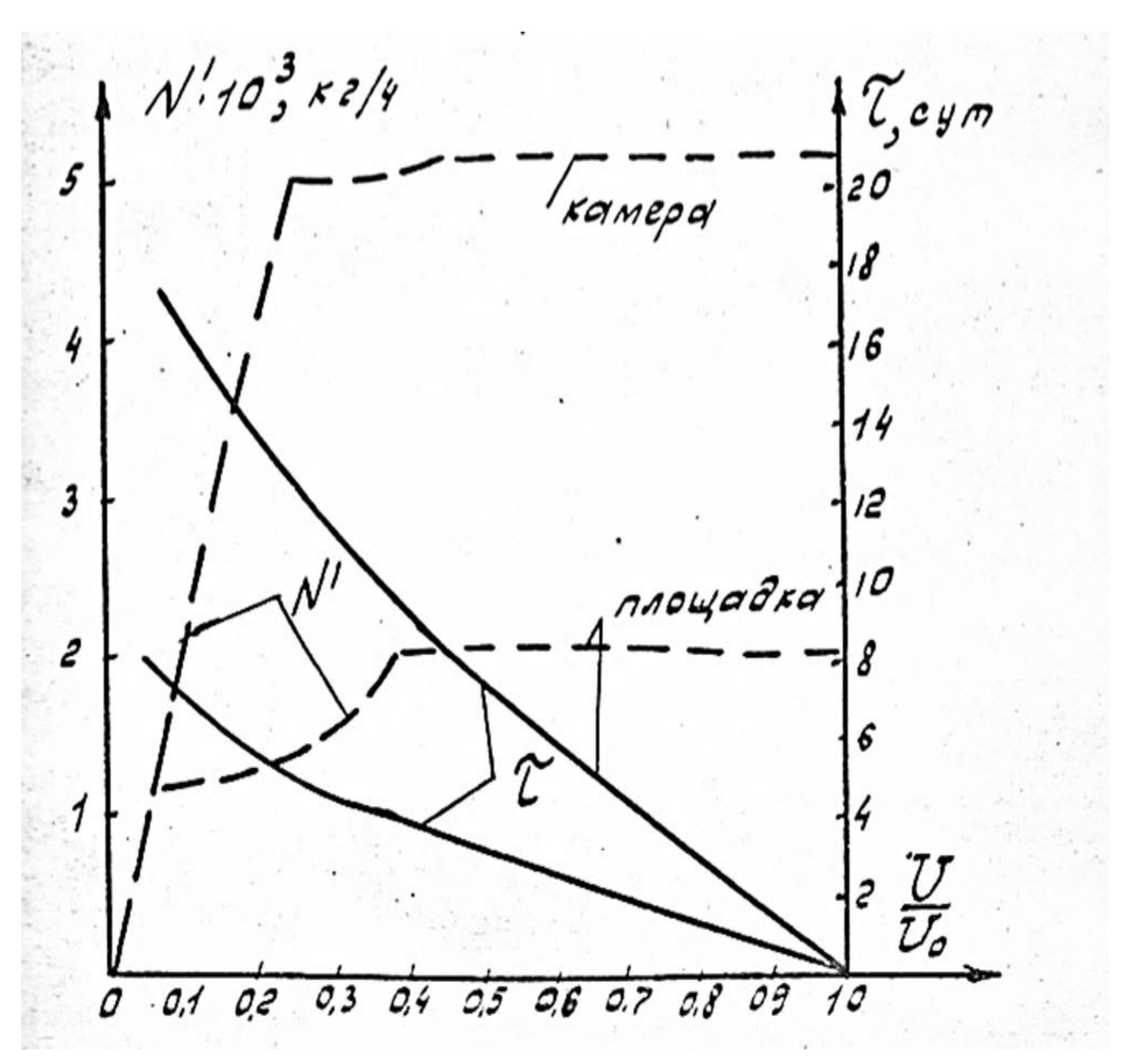


Рис.7 б Относительная скорость и продолжительность сушки винограда кишмиш черный.

Кинетика сушки винограда кишмиш черный

таблица 2

площадь	τ, сутки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	$\Delta m \cdot 10^2$, кг	0	5	5	5	5	5	3,5	3,0	3,0	3,5	3,5	3,5	3	2,5
	$N^1 \cdot 10^3$, кг/ч	0	0,08	2,08	2,08	2,08	2,08	1,46	1,5	1,25	1,46	1,46	1,46	1,25	1,0
	W,%	79	77,9	75,3	72	67,7	61,8	55,3	52,3	48,8	44	38,2	31,1	23,6	19,6
	U, %	376	352	305	257	209	162	124	109,5	95,2	78,6	62	45,2	31	21
	U/$U_н$	1	0,93	0,81	0,68	0,55	0,43	0,33	0,29	0,253	0,21	0,16	0,12	0,08	0,6
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
камера	$\Delta m \cdot 10^2$, кг		12.5	12.5	12.5	12.5	11	7	4	2.5	1	1			
	$N^1 \cdot 10^3$, кг/ч		5.2	5.2	5.2	5.2	4.6	2.9	1.7	1.04	0.42	0.42			
	W,%	49	76.0	72.0	66.4	58.0	46.1	34.4	25.0	17.6	14.3				
	U, %	376	317	257	198	133	85.7	52.4	33.3	21.4	16.7				
	U/$U_н$	1	0.84	0.68	0.52	0.37	0.23	0.14	0.09	0.067	0.044				

вид кривых может отличатся. В то же время можно утверждать что точка излома кривой сущки будут иметь место при тех же значениях величин относительного влагосодержания и для кривых действительной скорости сушки Таким образом на полученных кривых следует ,что окончание первого периода сушки имеет место при относительных влогосодержании 0,35 +0,38 при сущки винограда та откритой площадке и при значениях 0,45 при сущке в камере.

Указаннве величены величены относительного влагосодержания соответсвуют влажность продукта на границе первого периода ω, вычесляемой по формулам

$$\omega_1 = \frac{\bar{U}_1 \cdot U_0}{1 + \bar{U}_1 \cdot U_0} \qquad (1,23)$$

$$\bar{U} = \frac{U}{U_0}$$

где $\bar{U}$ - относительно и U_0- начальное влагосодержание продукта.

Из экспрементов было получено ,что в данном случае U_0=3,76 (при ω_0=79%)

,или при сушке на площадке $\omega_1 = 57.8\%$ ($\bar{U}_1 \approx$0,365), при сушке в камере $\omega_1 = 63.6\%$ ($\bar{U}_1 \approx 0.465$). Не смотря на то что полученные выводи о границе первого периода не изменяется при переходое и абсолютным величинам скорости сушки,значение истенной скорости сушки необходимо как для перехода к другум продуктам,так и для расчета сущильной установки.томчто в общем площадь поверхности продукта из-за усадки при из следущего основного положение теории сушки : - в первом периоде сушки при постоянной температуре продукта абсалютная скорости сушки постоянна (испарение происходить с поверхности продукта),пречоем независимо от того происходит сушки продукта или нет т,е. изменяется или нет площадь поверхности продукта.Отсюда следует ,что если бы в первомпериоде сушки происходило уменьшение

объема продукта ,то происходило бы уменьшение относительного скорости сушки N^1 .Как видно из экспрементальных кривых относительную скорость сушки в периоде можно считать постоянной, следовательно, можно сделать вывод ,что уеньшение площади поверхности винограда кишмиша черный в первом периоде сушки практически не происходит.

Аналогичные исследования, проводилось нами и для других плодов .На рис.15а рпиведены крвые изменения массы при сушке абрикоса с косточной и вишни с косточкой.В таблице 4 приведены характеристики этих продуктов в начале и в конце сушки.

Таблица 3

Характеристики абрикоса и вишни с костчкойв начале ивконце сушки

Продукта	Переод сушке	Габариты, см	Масса, г	Влаж,%	Объем, $см^3$	Площадь, $См^2$	Масса, пост	Плотность, $г/см^3$
Абрикос	Начало	3,5x3 x2,5	22	85,8	20	17,5	2	1,1
	Оконч	2,7x2,2 X2,6	5,93	14,7	7,6	6,46	2	0,78
Вышня	Начало	d=1.43	1.53	85.1	1.54	6.45	0.197	0.993
	Оконч	d=1.05	0,518	19	0,606	3,46	0,197	0,855

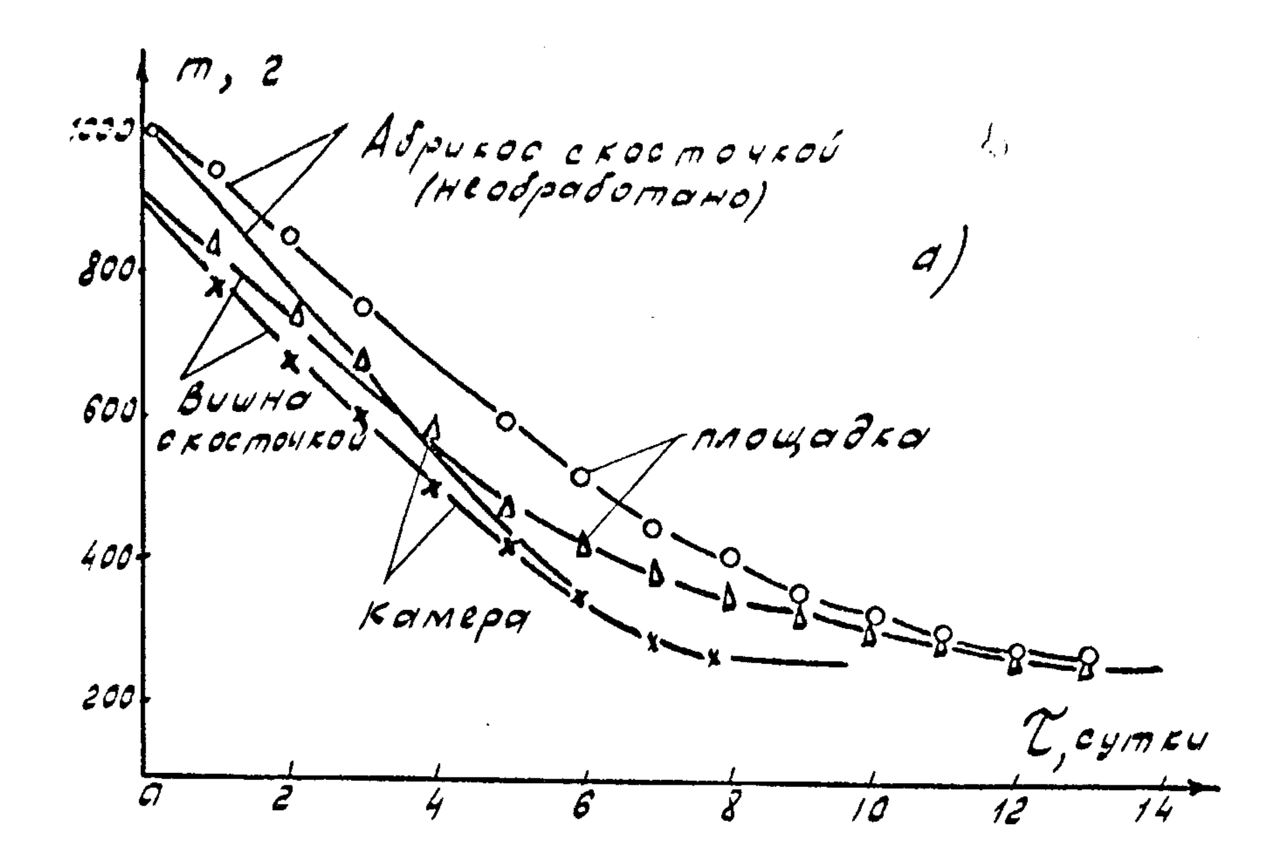


Рис.8 а кинетика сушки абрикоса и вишни

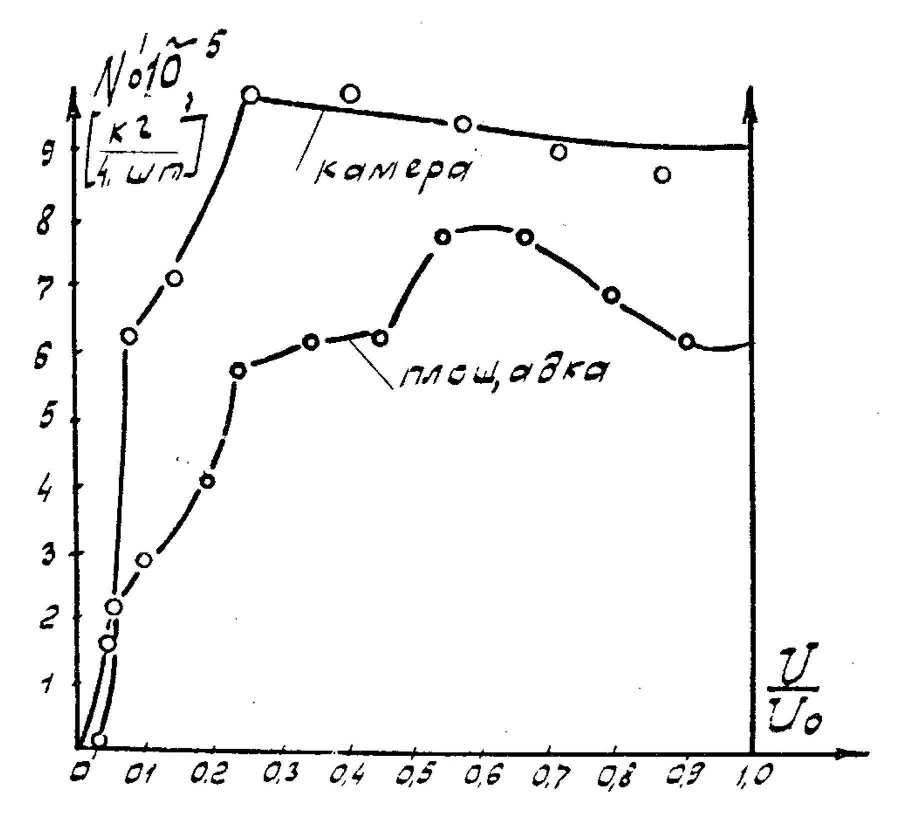


Рис.8 б Кривые относительной скорости сушки абрикоса от влагосодержаниея в продукте.

На рис 8 б приведены крывие относительной скорости N^1 сущки абрикоса и на рис 16 кривые изменения N^1 для вишни с косточкой в камере и на открытой площадке. Значения относительной скорости сушки N^1 влажности продукта ω и относительного влагосодержания для абрикоса и вишни по котором постронены графики N^1 на рис.8 б и рис. 9 даны в табл. 5и 6 соответственно. Анализ экспрементальныхкривых скорости сушки абрикоса (рис 8) и вишне с костичкой(рис 9) показывает, что здесь в отличии от винограда имеет место больший разброс экспрементальных точек ,а в некоторых случаях наблюдается даже рост относительной скорости сушки. В то же время ,можно выдать что также как и для винограда , достаточно четко выделяется граница между певым и вторым переодам сушки. Можнотакже видеть ,что вляние температуры на скорость сушки существенно. Из сравнительного анализа кривых следует ,что влияние температуры на скорость сушки различно для раразличных продуктов ,так наибольшее влияние температуры наблюдается для винограда,меньшее для абрикоса и самое маленькое вишни.

Для практического сипользования полученных результатаов рассмотрим возможность получения обобщенных зависимости для скоростей сушки впервом рериоде. В качестве определяющего параметра очевидно необходимо использовать срелносуточную температуру воздуха впроцессе сушки. Значение этого параметра,а также относительное влагосодержание, влажность, площадь поверхности продукта и относительная и абсолютная скорости сушки в конце первого периода приведены в таб.6

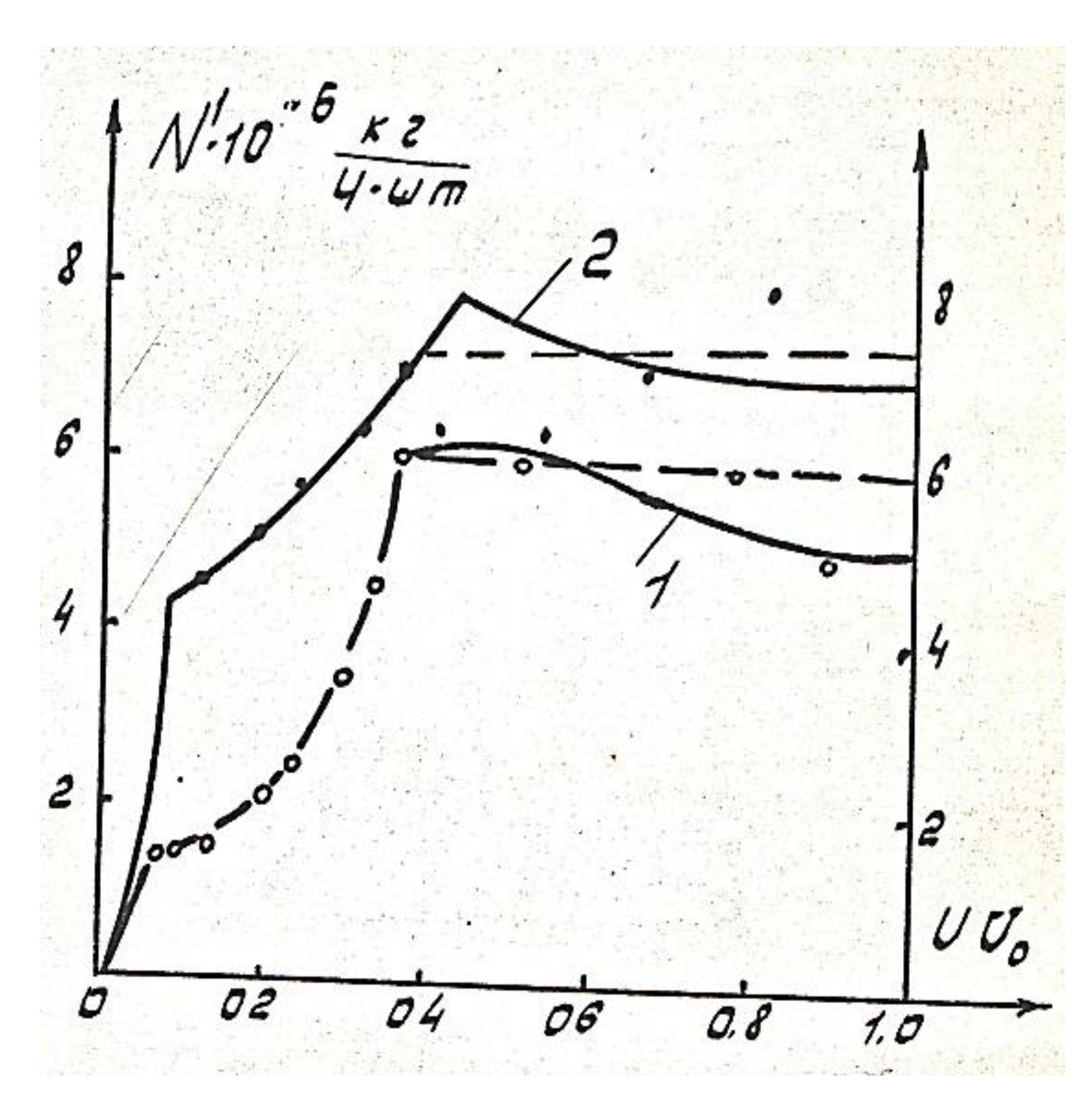


Рис.9 Относительные скорости сушки вишни с косточкой на площадке (1) и в комбинированной сущилке (2)

Относительные скорости сушки абрикоса N^1 на воздухе (площадка) и в камере Таблица 4

камера	τ, сутки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	$\Delta m \cdot 10^2$, кг	0	8,0	11,0	11,5	12,0	12,0	8,5	6	1,5	1				
	$N^1 \cdot 10^5, \frac{кг}{ч.\,шт}$	0	6,6	9,1	9,5	10	10	7,1	4,95	1,2	0,82				
	W,%	85,8	84	81,3	77,5	71,6	61,2	47,7	30,8	24,7	20				
	U, %	604	521	435	345	251	158	91,4	44,5	32,7	24,9				
	U/U_H	1	0,863	0,72	0,57	0,42	0,26	0,15	0,07	0,05	0,04				
площадка	$\Delta m \cdot 10^2$, кг	0	5	8,5	9,5	9,5	7,5	7,5	7	5	4	3,5	2,5	2	0,8
	$N^1 \cdot 10^5, \frac{кг}{ч.\,шт}$	0	4,1	7	7,8	7,8	6,2	6,2	5,8	4,1	3,03	2,9	2,0	1,65	0,66
	W,%	85,8	84,5	82,7	80,1	76,7	73	68	61,2	54,3	46,7	37,6	29,0	20	15,8
	U, %	603	544	478	404	32,9	271	212	157	119	87,5	60,1	40,6	25	18,7
	U/U_H	1	0,90	0,79	067	0,55	0,45	0,35	0,26	0,2	0,15	0,10	0,7	0,4	0,3

Относительные скорости сушки вишни N^1 кг/ч.шт/на открытом воздухе (площадька) и в камере

Таблица 5

камера	τ, сутки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	$\Delta m \cdot 10^2$, кг	0	11,5	10,0	9,0	9,0	8,5	7,0	6,0	2,0	1,0	0				
	$N^1 \cdot 10^6, \frac{кг}{ч.шт}$	8,14	8,14	7,08	6,37	6,37	6,02	4,96	4,25	1,42	0,71	0				
	W,%	85,1	82,5	79,5	75,6	70,0	61,1	50,1	33,0	24,2	19					
	U, %	572	473	387	310	233	160	100	49,2	32,0	23,4					
	U/U_H	1	0,83	0,68	0,54	0,41	0,28	0,18	0,036	0,056	0,04					
1площадка	$\Delta m \cdot 10^6$, кг	0	7	8,55	8,55	8,5	9,5	5	3,5	3	2,5	2	2	2	1	
	$N^1 \cdot 10^6, \frac{кг}{ч.шт}$	4,96	4,96	6,02	6,02	6,02	6,73	3,54	2,48	2,12	1,77	1,42	1,42	1,42	0,71	0,71
	W,%	85,1	83,6	81,4	78,5	74,6	68,0	62,8	58,2	53,1	48,0	42,8	36,6	29,0	24,2	1,9
	U, %	572	512	439	336	293	212	169	139	113	92	75	58	40,6	32	23

	U/U_H	1,00	0,895	0,768	0,640	0,52 3	0,370	0,3	0,24	0,2	0,16	0,13	0,10	0,07	0,0 6	0,0 4

Таблица 6

Параметры сущим продуктов в первом периоде

Продукт	Режим	t сут ,см^2	S.см^2	ω,%	U	$N^1.10^5, \frac{кг}{ч.шт}$	$N^1.10^2, \frac{кг}{ч.шт}$	$\omega_н$%
Виноград кишмиш	Воздух	28	7.41	59.4	0.39	0.45	0,637	79
черный	камера	43	7,41	63,6	0,465	1,12	1,51	
Абрикос	Воздух	28	17	59,1	0,24	5,7	3,35	85,8
	Камера	43	17	61	0,26	9,5	5,59	
Вишня с костичкой	Воздух	28	6,42	67,3	0,36	0,6	0,934	85,11
	Камера	43	6,42	68	6,37	0,8	1,46	

Здесь N[1] , .N –относительная и абсалютная скорости сушки с поверхности одной ягоды. Для вишни при определение Ü,ω вес косточки исключен.

Как видно из таб 6 в конца первого периода сушки влажность продуктов ещё достаточна велика ,причем с увеличением температуры сушки граничная влажность растет. В связи с этим, представляет интерес вопрос об величенах усушки, т.е. отношении масс продуктов в начале и в конце первого периода .Из определения понятие влажности следует ,что

$$\omega_{н} = \frac{M_B}{M_H}; \qquad \omega_i = \frac{M_{bi}}{M_i} \qquad (1.24)$$

где M_B.M_i - масса воды в продукте в начале и в i –тые моменты времени,

$M_н$, M_i – массы продуктов. учитывая , что

M_B= M_B+M_c и M_i= M_{Bi}+M_c получим

$$\frac{M_H}{M_i} = \frac{100-\omega_i}{100-\omega_H} \qquad (1.25)$$

Из табл. 6 и (1.25) следует,что отношения масс в конца первого периода будут равны

	На воздухе	в камере
Виноград	1,93	1,73
Абрикос	2,88	2,75
Вишня	2,20	1,94

Как видно, несмотря на то что влажность продуктов в конце первого периода еще достаточно высока и превыщает 60%, масса продуктов уменьщелась почти в два раза. Отсюда следует, что если скорость сушки в первом периода постоянно, несмотрия на сущностевенное уменьшение массы ,то при должна сохраняться постоянно и площадь поверхности продукта. Можно сделать также вывод, что в первом периоде продукта.сушки должно происходить и существенное уменьшение плотности продукта. Физически это может иметь место при следующих условиях – внутри продукта между оболочкой и мякотью появляются пустоты. Из результатов исследований следует также, что этот процесс может меняться в завевисмости от температуры сушки. Так с увеличением температуры сушки этот процесс начинается раньше и заканчивается при большей влажности, т.е. объем пустот будет менъше, чем при сушки на открытом воздухе (сушка при меньшей температуре).

Таким образом для указанных продуктов с плотной кожицей механизм сушки в первом периоде имеет особенности – сохранение начальног объема и появление пустот в продукте. О наличие пустот свидетельствует и то ,что масса продуктов уменьшается в 2-3 раза.

Из результатав исследований следует ,что возможно ,в первом прбилижение, определить эмпирические зависимоти между температурой сущильного агента и скоростью сушки ,а также связь температуры и продолжительности сушки. Для рассматриванного интервала температур эти зависимости приведена на рис. 10. Как видно,в этом интервале

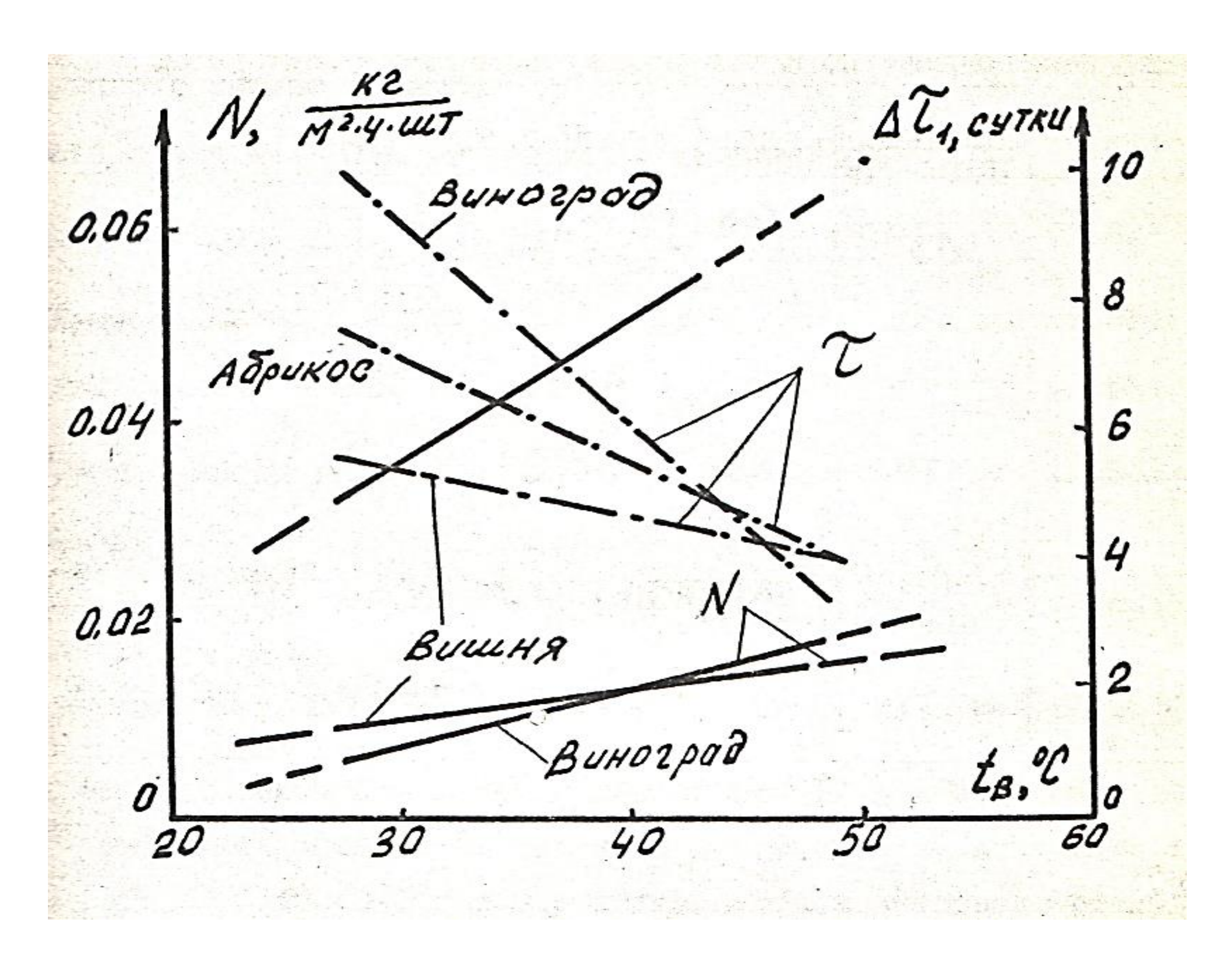


Рис.10 скорость N и продолжительность сушки в первом периоде в зависимости от температуры сушки.

температур их можно аппроксимировать зависимостями вида

$$у = у_0 + К\cdot(t - t_0) \qquad (1.30)$$

где t, t_0 –температура сушки текущее и начальное.

Для расматренных продуктов в первом периоде сушки имеем

Виноград кишмиш черный

Скорость сушки $N_1 = 6{,}07 \cdot 10^{-3} = 60{,}02 \cdot 10^{-4}(t-28)$, $\left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{шм}}\right]$ (1.31)

Продолжительность $\tau_1 = 10 - 0{,}425 \cdot (t-28)$, [СУТКИ] (1.32)

Абрикос

Скорость сушки $N^1 = 3{,}35 \cdot 10^2 + 1{,}5 \cdot 10^{-3}(t - 28)$, $\left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{шм}}\right]$ (1.33)

Продолжительность $\Delta\tau_1$= 7,5-0,156 $\cdot (t-28)$, [сутки] (1.34)

Вишня

Скорость сушки N^1= 9,34$\cdot 10^{-3} + 3{,}51 \cdot 10^{-4}(t-28)\left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{шм}}\right]$ (1.35)

Продолжительность $\Delta\tau_1$= 5,2 - 0,044 $\cdot (t-28)$, [сутки] (1.36)

Полученные зависимости ,как видно из рис.10 можно использовать при практические оценках не толко в рассматренном интервала температурур от 28 °С до 43°С, но и в более широком интервале от 20°С до50 °С т.е охватить диапозон температур, который может быть обеспечен в гелио- и комбинированных сущилках.

Можно отметить,что одним из факторов, определяющих кинетику сушки, является влажность теплоносителя и в общем случае он должен для имевших место режимах сушки (см,рис,6) и ходе кривых скорости и времени сушки (см.рис. 10) основным фактором явдяется температура

1.1.3. Кинетика сущки плодов и винограда во втором периоде сушки

Из экспрементальных крывих сушки и рассчитанных наих основе крывих относительной скорости сушки N^1 следует что практически для всех рассматриванных продуктов можно также достаточно четко выдилить как начало, так и оканчание втророго периода - периода убивающего скорости сушки. Причем эти границы, как видно, определяются как характеристиками ппродукта,так и температурой в сушилной камере. В этом периоде, как следует из теории сушки, вследстви уменньщения скорости сушки (зона испарения углубляется в материал) начинает расти температуа продукта. В производственных условиях различных материалов эти границ между периодами является опорными точками, начиная с которых необходимо уменьшить тепловые потоки или в данном случае, температуру сушельного агента. Причем, как видно, особенно важнойв практическиом плане является граница окончания второго

периода,начиная с которойначинается резко падение скорости сушки. Как отмечалось выше, масштабы полуеных крывих сушки, построенных ходе к абсолютным скоростям сушки N^1 будут изменяется при переходе к абсолютным скоростям сушки N. ·Переход от N^1 к N необходим и для того, чтобы более обоснованно не только в качественном плане, но и в количественном для того, чтобы проводит корректровку температурных режимов. Определение истинных скорестей сушки вовтором периоде, в принципе, более сложная задача т.к здесь присходит одновременное уменщение как самой скорости сушки ,так и изменение объема и плошади поверхности метров происходит продуктов. Как было получено выше, в 2.2.2 изменение этих параметров происходит различным образом. Так, било получено ,что уже при влажности около 60-70% а конце первого месяца продукта измененяется в 2-3 раза и так как при этом экспремнтальное наблюдалось постоянство N^1 , допущении что и N постоянно (следует из теория сушки) вытикает , что и площадь поверхности продукта также должна оставается постоянной.

Для анализа указанных вопросов во втором периодае сушки рассмотрим изменение массы и влажность продукта. Как было получено из анализа первого периода сушки, для рассматренных продуктов площадь поверхностипродукта должна бить постаянной, несмотрия на уменьшение массы от 1,7 до 2,9 раз. Из кривых сущки следует ,что к окончанию второго периода сосиавляет (см.таб.7).

Таблица 7

Продукт	Режим	$\ddot{U}_K$	$\omega_к$, %	$M_H/M_к$	U_0
Виноград	Воздух	0,1	27,3	1,79	3,75
	Камера	0,25	48,45	1,416	
Абрикос	Воздух	0,05	23,17	1,87	

	Камера	0,08	32,54	1,72	6,03
Вишня	Воздух	0,07	28,6	2,18	
	Камера	0,08	31,4	2,13	5,72

$M_н$- Масса продукта к концау первого периода сушки:

$M_к$- Масса продукта к концау второго периода сушки:

Пересчет от $U_К$ к $\omega_К$ осществляется по (1.23)

Из табл.7 видно, что к окончанию второго периода сущки масса воды в продукте не перевыщает 10% т.е. продукт уже в основом включает только сухие вещества.Отсюда можно сделать вывод отом действительная плотность продукта может быть уже близка и конечной плотности продукта которую он приборативает к моменту оканчание сущки в третем периодие Характеристики расматренных выше продуктов в началеа и в конце сушки приведины в табл.8

Таблица 8

Характеристика продуктов вначале и в конце сушки

Продукт	Размеры см	Масса г	Объем $см^2$	Площадь $см^2$	Плотн. $г/см^3$
Виноград	В целом e =1.75 d=1.35	2,15	1,86	7,42	,156
	Косточка Мякоть				
	В целом =1.3 d=0,75	0,55	0,463	3,06	1,19
	Косточка Мякоть				

Абрикос	В целом 3,5х3х2,5 Косточка Макоть 3,5х3х2,2	22 2,38 19,62	20 2,4 17,6	17 2 17	1,10 0,991 1,115
	В целом 2,7х2,2х1,6 Косточка Макоть 2,7х2,2х1,6	5,93 2,38 3,55	7,6 2,4 7,6	6,45 2 6,46	0,78х 0,991 0,47х
Вишня	В целом d=1.43 Косточка d=0.675 Макоть 1.43	1.53 0.197 1.333	1.54 0.161 0.379	6.42 1.432 6.42	0.993 1.22 0.967
	В целом d=1.05 Косточка d=0.675 Макоть d=1.05	0.518 0.197 0.244	0.606 0.161 0.445	3.46 1.43 3.46	0.855 1.22 0.721[x]

[x-] плотность кажущаяся.

Как видно из табл 8 для абрикоса и вышни наблюдается существованное уменьшение плотности .Эта облусловлено тем, что плотность определяласькак отношение массы и габаритным размером (и объему) продукта. И так как поверхность этих продуктов существовенного неровня, то габаритный объем продуктов. Действительно плотности этих продуктов ,как следует из винограда (неровсти поверхности меньше) должны имет плотности не меньше плотности исходного продукта. Учитывая вышеуказанное, имеем следующие факты- площадь поаерхности продуктов до конца первого периода.была постянной, а масса,продукта к концу второго приода практически равняется массе, которую имеет продукт к концу сушки.

В общем, для второго периода сушки также известно, относительная и абсолютная скорости сушки уменьшаются. Если при этом допустить, что плошадь поверхности продукта также уменщается, то изменение абсольютной скорости сушки должно быть медленнее, чем изменение скорости. Из крывых на рис. 7б,8б, 9 выдно, что относительная скорость

сушки во втором периоде изменяется различным образом в зависимости от продукта и режима сушки.

Из указанных фактов, а также учитывая,что площадь поверхности продуктов в первом периоде, как было получено нами выще оставалось постоянной, прием допущение о том, что во втором периоде абсалютная скоросъ сушки постоянна, а изменине (уменьшение) относительной скорости сушки присходит за счет уменьшенияплощади поверхности продукта.

В таблице 10 приведены парметры указанных продуктов: $m_2, S_к$ -масса и плошадь поверхности продукта в концае второго периода; N_0^1, N_2^1-скорости в начале и конца второго периода сушки.

Для сравнения, там же представлены начальные массы и площади поверхности продуктов.

Характеристика продуктов во второгом периоде сушки

Таблица 9

Продукт	Режим	$m_{H,}$ г	$S_{H,}$ $см^2$	$m_{2,}$ г	$S_{2,}$ $см^2$	$N_{02}^1 \cdot 10^5$ Кг/Ч.шм	$N_2^1 \cdot 10^5$ Кг/Ч.шм
Виноград	Воздух	2,15	7,41	0,622	4,42	0,45	0,27
	Камера	2,15	7,41	0,877	7,11	1,12	1,07
Абрикос	Воздух	19,62	17	3,64	6,26	5,7	2,1
	Камера	19,62	17	4,15	11,09	9,5	6,2
Вишня	Воздух	1,33	6,42	0,277	1,5	0,6	0,14
	Камера	1,33	6,42	0,28	3,45	0,8	0,43

				8			

Из табл. 8 и 9 можно видеть, что массы продуктов за исключением винограда вконце второго периода сушки в основном близкихи их значениямв конце второго периода сущки в основном близки к их значениеям в концасушки. В то же время допущенние о том, что во втором периоде N постоянно, а уменьщается в первую очередь площадь поверхности продукта, требует уточнений (см. Вишная и абрикос на воздухе).

Так с увелиечением температурииы сушки допушение о постоянстве N во втором периоде более обосновано при высоких температурах сушки, чем при нисских, например, на открытом воздухе.

Причем как следует из табл. 9 для различных продуктов эти особенности проявляются различром образом.

Так при сушки на воздухе абсолютня скорост сушки N рассматренных продуктов во второ периоде заметно уменьшаетется.

Это следует из того ,что если допустить, что абсалютная скорость сушки N постоянна , то оказывается , что площадь поверхности продукта будет близка или даже меньше чем плошадь продукта в конца сущки. При сушке в камеры, где имеют место более высокое температуры, можно принять допушенние о том , что N во втором периоде постоянно, особенно для винограда.

Анализируя рассматренные периоде сущки, можно отметить следующее качественного изменении характера процесса сушки с увелечением температуры сушки изменяется характер усадки (изменение объема) продукта –при малых температурах он более согласован с изменением массы продукта, т.е с изменением температуры сущки изменяется и характер изменения плотности продукта.

Э та проводит и тому , что распределение массы в объеме продукта будет более неровномерным. Это особенно характерно для первогопериода сушки, а отсюдаследует, что она опредиляет особенности процесса сушки и во втором периоде- усадка продукта в камере идет с большей скоростью, чем на открытом воздухе. Указанный характер процесса физически возможен, как эта следует из за кривых сушки в том случае, когда с увеличением температуры сушки границы периодов обозначаются при больших влажностях. .А это законамерность, как видно из экспрементальных данных действительно имеет место. Для технической оценки процессов, происходящих присходиших во втором периоде сушки необходимо в первую очередь выявить длительность этого периода и диапозон велечин скоростей сушки в зависимости от температуры сушки.

На рис. 11 преведины зависимости скорости сушки во втором периоде от температуры сушки.

На рис. 12 представлены зависимоти продолжителности сушки от температуры во втором периоде сушки.

Анализ результатов представленных на рис. 11,12 показывает, что если абсалютная скорость сушки продуктов близка к их значениям в первом периоде, то прдолжительность второго периода имеет особенности-достаточно быстрое ее уменшение с ростом температуры. Аппроксимация данных по времени сушки во втором периоде $\Delta\tau_2$, в исследованном диапозоне температур позволяет выразитьих в виде

для винограда кишмиш черный

$$\Delta\tau_2 = 6{,}5 - 0{,}36 \cdot (t - 28). \text{ сутки} \qquad (1.37)$$

абрикоса

$$\Delta\tau_2 = 4 - 0{,}137 \cdot (t - 28). \text{ сутки} \qquad (1.38)$$

вишни

$$\Delta\tau_2 = 6{,}8 - 0{,}22 \cdot (t - 28), \text{ сутки} \qquad (1.39)$$

Сравнение поолученных зависимостей с данными полученными для первого периода показывает, что эдесь практически все продукты имеют близкие начальные значения продолжительности сушки. Выше было указано, что во втором периоде происходит основная усушка продукта. При этом, как следует из анализа данных , можно, в первом приблежении , опредилить коэффицентов усушки продукта и они будут равны изменению относительной скорости сушки. На рис. 13 приведены значения этих коеффициентов усушки продукта $К_у$. Значения относительной скорости сушки в начале **(N_{02}^1)** и в конце **(N_2^1)** второго периода приведены в таблице 9.

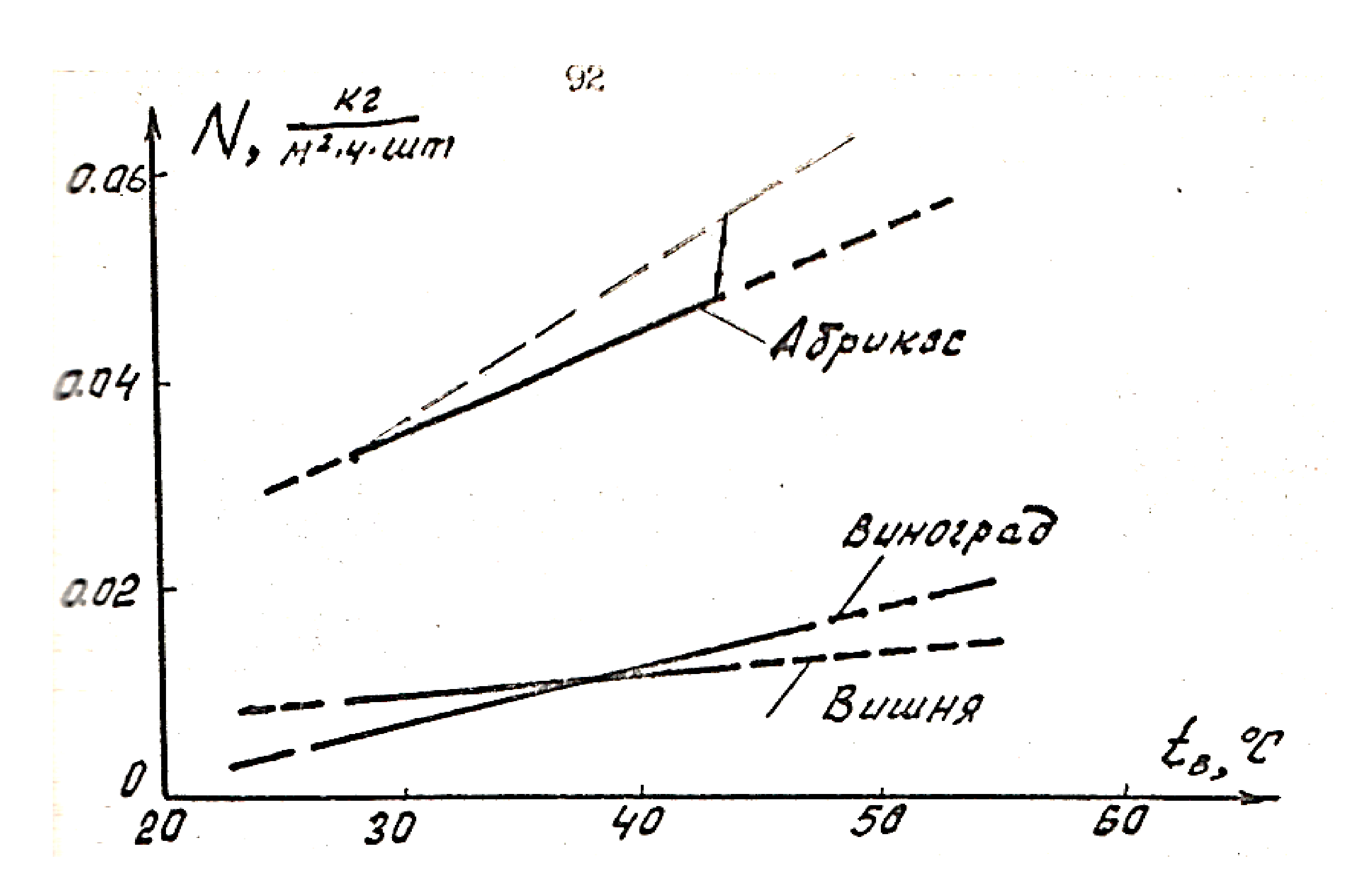


Рис.11. Скорость сушки во втором периоде в зависмости от температуры сушки.

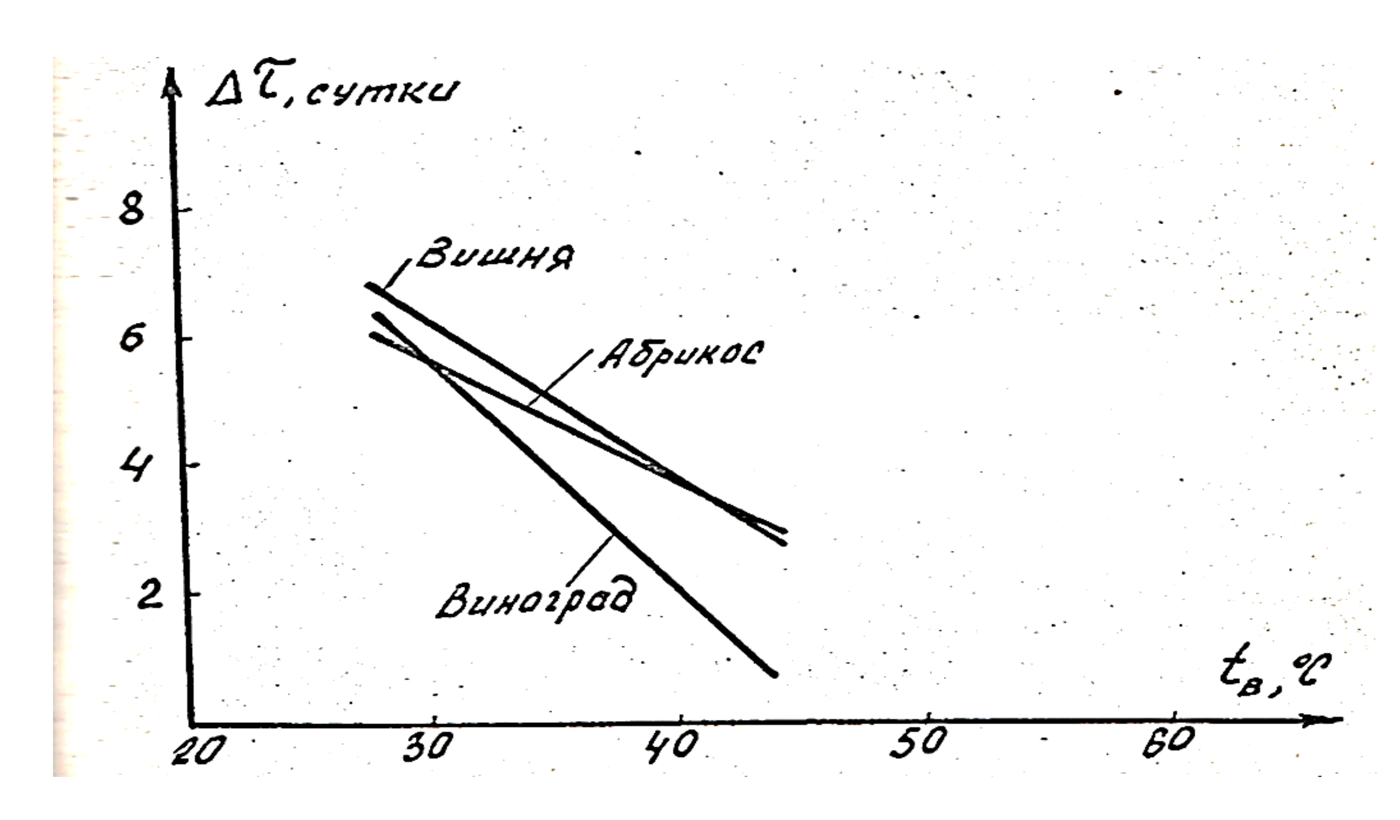


Рис.12. Продолжительность второго периода сушки в зависимостиот температуры сушки.

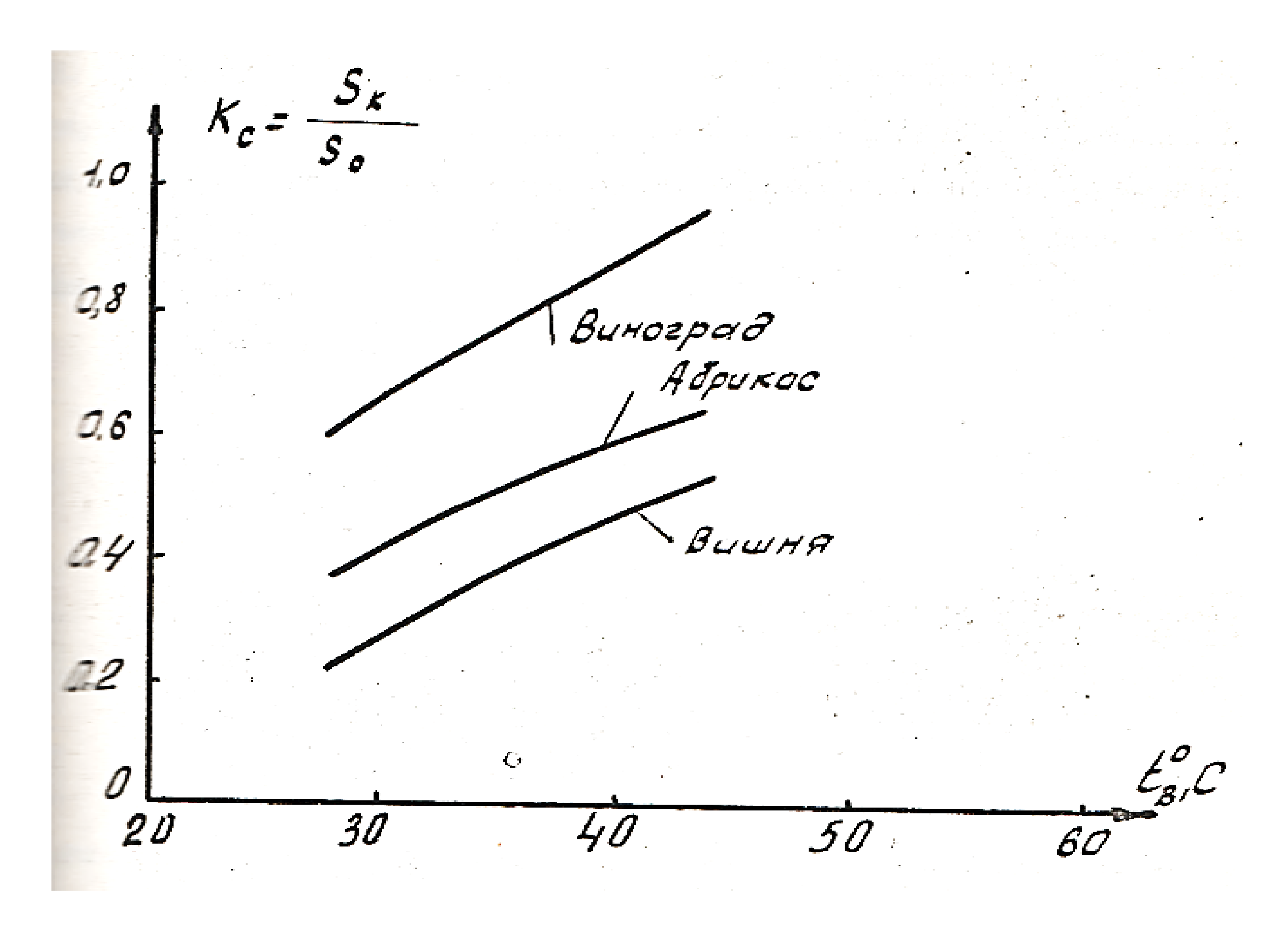


Рис.13. Коэффиценты усушки продуктов во втором периоде в зависимоти от температуры сушки.

Значения коэффицентов определялись по формуле

$$К_у = \frac{N_2^1}{N_{02}^1} = \frac{sя_2}{Sя_0} \qquad (1.40)$$

Из полученных данных следует общая закономерность-умкеньшение усушки с ростом температуры. Это обяснияется в основном сокращением продолжительности второго периода сушки с повышением температуры сушки. Аппроксимация данных позволяет выразить коэффиценты усушки от температуры сушки, или

для винограда кишмиш черный

$$К_у=0,6+0,22\cdot(t_в- 28) \qquad (1.41)$$

абрикоса

$$К_у=0,37+0,0175\ (t_в-28) \quad (1.42)$$

вишни

$$К_у=0,233+0,0192\cdot(t_в-28) \quad (1.43)$$

Из рис.20 и вражений для $К_у$ можно выдить ,что коэффиценты наклона крывих с погреностью не превыщающей ± 10% можно принять одиноковым и равным 0,01957.

В целом по результатом исследований второго этапа сушки можно сделать следующие вывода: абсалютая скорость сушки продукта во втором периоде постоянно и равно ее значению в первом периоде,. одноко вселедствие уменьшение поверхности продукта относительная и эффективная скорости сушки будут уменьщается. Продолжительность сушки продукта во втором периоде существенно зависит от температуры сушки и уже при $t_в > 45^0С$ $\Delta\ \tau_2$ меньше суток.

1.1.4. Сушка плодов и винограда в третъем периоде

Из анализа экспрементальных данных следует, что для процесса сушки расмотренных плодов и винограда имеет место третий проит сушки, или второй этап второго проиода сушки. В общем случае этот период характерен для материалов , которые проявляетют гигроскопический свойства. В соответсветствии с изотермами сорбции и десорбции начало третего переида соответствует точке, в который влажность материала начинает становится меньше максимальной гигроскопической влажности ω_m при относительной влажности воздуха равной 100%. Отсюда следует, что из полученных кривых мы можем, в первом приближении, определять максимальную гигроскопическую относительную влажность ω_m, или влагосодержание U_m расмотренных продуктов при влажностях воздуха,

имевших место при сушке на открытом воздухе и в камере. Результаты обработки полученных крывих сушки представлены в таб 10.

Таблица 10

Максимальные гигроскопические влажности $\omega max^{и}$ влагосодержание U_mплодов и винограда в начале третьего периода сушки

Продукт	Режим	$\ddot{U}_m$	$\ddot{U}_{m,}$%	$\omega_{m,}$%	$\ddot{U}_{m,}$% [21]
Виноград	Воздух	0,1	38	27	
	Камера	0,85	94	48	
Абрикос	Воздух	0,05	30	23	41
	Камера	0,08	48	32	
Вишня	Воздух	0,07	40	29	48
	Камера	0,08	46	31	

В табл.10 по данным [8] также, для сравнения, преведены имеющиеся данные по максимальному влагосодержание абрикоса и вишни при относительной влажности воздуха 80…90% и ее температуре 20-24^{0}С. Сравнение полученных данных показывает , что имевщее место в опыте влагосодержание продуктов в начале трерьего периода на воздухе,учытивая,что влажность воздуха при сущее была меньше 70% , достаточно хорошо совпадает с данным, приведенными в [8].

В то же время видно , что влагосодержание в начале третьего периода при сущке в камери существенно отличаются от этих на параметров при сушке на воздухе, особенно для винограда. Т,е начала третьего периода начинается на воздухе и в камере при существенно отличных влагосодержаниях продукта. Это может быть обусловлено следующими основами факторами –влажностью сушильного агента и скоростью сушки продукта (температурой сушки и свойствами продукта). Анализ влажностного режима показывает, что среднее влажности сушильного агента при сушке на воздухе и в камере принципиально не отличаются. Более важным параметром babприпри сушке одинаковых продуктов влияющим на протекание процесса является температура сущильного агента. Этот фактор, как показывают исследования процесса сушки в первом и во втором периодае приводит и к качественному изменению процесса сушки продукта – изменяется характер распределения влажности в материале, т.е. температура сушки является параметром, который не просто изменяет скорость сушки, но может привести и к изменению одного из качественных характеристик продукта (усадка,внешней вид) . Этот результат получен нами косвенно и требует специальных исследований. Одноко мы считаем, что существенные отличия во влагосодержании продуктов в критических точках у начало второго и третьего переводов, а таке в общем, заметная разница во внешном виде продукта при сушке в камере и на открытим воздухе подверждают сделанный выше вывод. И эти различие как выдно из данных табл 10. усиливаются для абрикоса и винограда, т.е. для продуктов, в которых интенсивность сушки мала сама по себе из-за большого содержание сахара и наличие плотной кожицы. Так для абрикоса при сушке на открытом воздухе начало третьего периода наступает при влагосодержание равно 48%. Для винограда эти различия еще более существенны соответственно 38% и 94%. Полученный результат говорит о том, что если мы хотим сохранить внешний вид продукта (например

абрикос, виноград), при сушке в камере, таким же как при сушке на открытом воздухе, то мы должны ограничивать температуру меньше сушильного агента значительно меньшеми пределами до 50%^{0}С, которые менше пределов рекомендуемых в литература [7,8]-до 65-70^{0}т .е. ограниченными температурами, когда начинаются процессамы каремилизации.

Полученные данные позволяют, в общем, не только характеризовать особенности сушки рассмотренных продуктов, но также определяеть требования к режему сушки в третеи периоде и в первую очередь к температуре сущильного агента и влагосодержанию продукта.

На рис. 14 приведена зависимость влагосодержание продуктов в начале третьего периода от температуры воздуха при сушке. Как видно из рис.14 для рассматриванных продуктов кроме винограда имеет место довольно слабая зависимость максимального равновесного влагосодержания от температуры. Одна из причин этого в том, что эти продукты (абрикос, вишня) к концу второго периода уже имели массы близкие и оканчанию сушки. Отметим, что как было указано выше, значения влагосодержания в начале треьего периода в большой степени зависит от режимов сушки в первом и втором периоде, т. е она пределяется предисторией сушки и в большей степени этими периодами сушки и характеризуется.

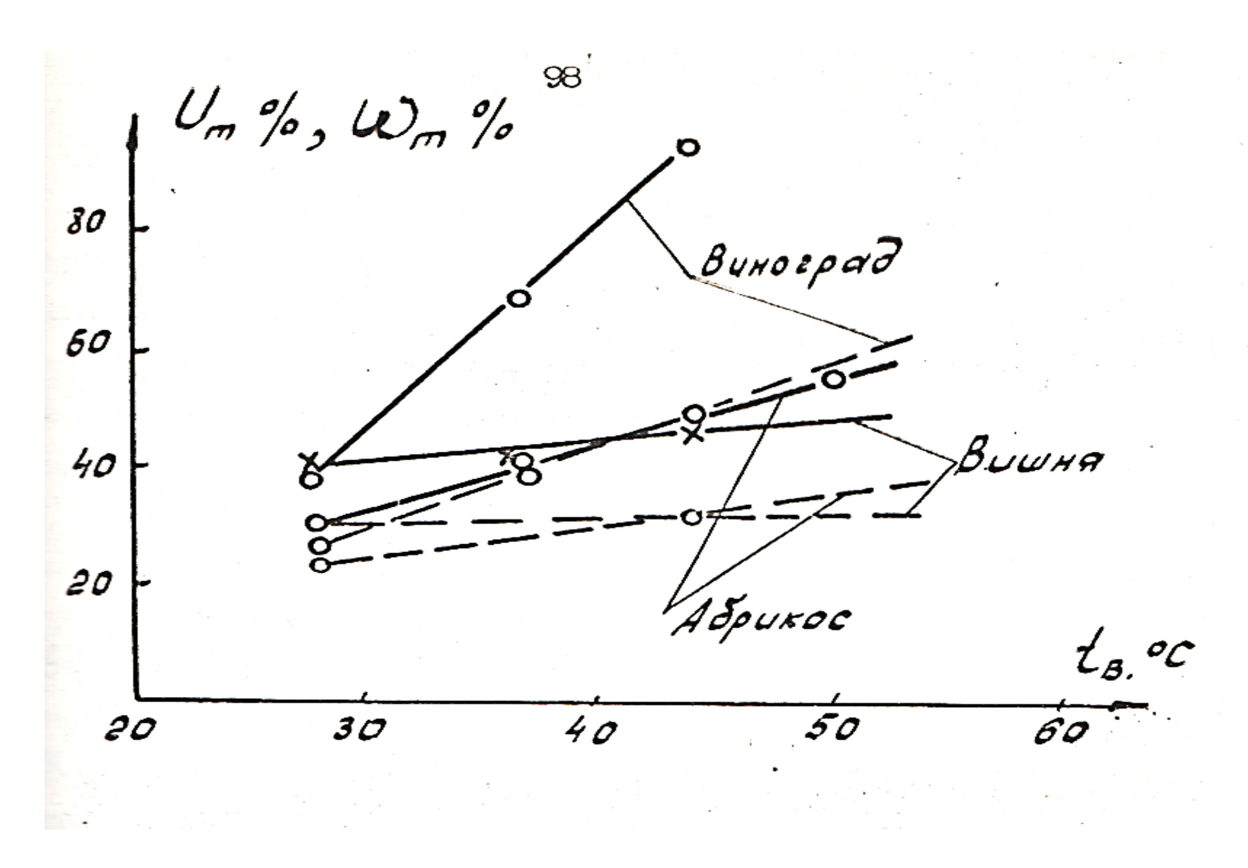


Рис.14 Зависимость максимального равновесного U_m (– –) и влажности ω_m

(-) от температуры сушки.

Рассмотрим теперь вопрос об определении абсальютной скорости сушки в третьем периоде. Особенность задачи заключается в том, что если на первом этапе скорость сушки была постоянно, в на втором в основном записела только от изменения площади поверхности, то в третьем периоде переменными является , как относительная скорость сушки, так и площадь поверхности продукта.

В таблице 12 приведены экспрементальные и расчетные ($S_{3н}$) характеристики продуктов в начале и в конце третьего периода сушки, где $m_{3н}$ и $m_{3к}$ – начальные и конечные массы плодов, $S_{3н}$, $S_{3к}$-начальные и конечные в третем периоде площади поверхности $N^1_{3н}$ $N^1_{3к}$ /кг/ ч.шт – относительное скорости сушки;

K_s,K_N^1 – коэффиценты изменения площади и относительной скорости продуктов.

Табица 11

Характеристики плодов в начале и в конце

треьего периода сущки

Продукт	Режим	m_{3H} г	$m_{3К}$ г	S_{3H} см^2	$S_{3К}$ см^2	$К_S$	$N^1_{3H}\cdot 10^5$ Кг/Ч.шм	$N^1_{3K}\cdot 10^5$ Кг/Ч.шм	K_{N^1}
Виноград	Воздух	0,622	0,548	4,42	0,06	1,44	0,27	0,183	1,47
	Камера	0,877	0,548	7,11	3,06	2,32	1,07	0,225	4,75
Абрикос	Воздух	3,67	3,55	6,26	6,46	0,97	2,1	0825	2,54
	Камера	4,15	3,55	11,09	6,46	1,72	6,2	0,825	7,50
Вишня	Воздух	0,277	0,244	1,5	3,46	0,43	0,14	0,071	2,00
	Камера	0,288	0,244	3,45	3,46	0,997	0,43	0,071	6,05

Коэффиценты $К_{S}$, и $К_N^1$ определялись в виде :

$$К_S = \frac{S3_Н}{S3_К} \qquad (1.44)$$

$$К_N^1 = \frac{N^1_{3H}}{N^1_{3H}} \qquad (1.45)$$

Из определения коэффицентов следует, что они должны быть

1. Значения $К_S$ меньшие 1 для некоторых случаев связанно с тем, что значения $S_{3н}$ были определены в предположении , что абсальютная скорость сушки N_2 во втором периоде определяется только изменением N_2^1. На самом деле ,особенно при сушке на открытом воздухе, изменяется (уменьшается) также и N_2 - Поэтому в дальнейшем анализе при $К_S <$ 1 его значение необходимо принять равным единице.

   Во общем случае можно записать:

$$N_3 = \frac{N^1_3(\bar{U},t)}{S_3(\bar{U},t)} \qquad (1.46)$$

где $\bar{U}$ - t – относительное влагосодержание продукта и температура сушки.

Рассмотрим значения N_3 при сушке на воздухе и в камере в начале и в конце третьего периода. Значения N_3 , вычисленные на основании (1.46), по данным табл.11, представлены в таб.12.

Таблица 12

Абсалютные скорости сушки продуктов в начале и в конце третьего периода сушки

Продукт	Режим	$\overline{U}_{3H}$	$\overline{U}_{3K}$	ω_{3H}	ω_{3K}	$N_{3H_{кг}} \cdot 10^3$ / $м^2 \cdot ч \cdot шм$	$N_{3К_{кг}} \cdot 10^3$ / $м^2 \cdot ч \cdot шм$
Виноград	Воздух	0,1	0,05	27,3	19,6	6,11	6,71
	Камера	0,25	0,044	48,4	17-18	15	7,35
Абрикос	Воздух	0,05	0,04	23,2	20	33,5	12,8
	Камера	0,08	0,04	32,4	20	55,9	12,8
Вишня	Воздух	0,07	0,04	28,6	19	4,04	2,05
	Камера	0,08	0,04	31,4	19	12,4	2,05

Анализ данных табл 12 и 11 показывает, что сушке на воздухе абсольютная скорость сушки в начале и в конце третьего периода при низких температурах будут изменяется в основным за счет уменьщения относительной скорорости сушки , с ростом температуры, когда имеет место резкой подение N^1 в третьего периоде, уменьшение N компенсируется уменьшением плошади поверхности продукта. Эта общая закономерность, в конкретных случаях имеет место некоторые отличия, связанные с тем,что для различных продуктов эта закономерность имеет место при других уровнях температуры.

Так, для винограда, даже на открытом воздухе, в третьего периоде еще идёт усадка продукта, а для вишни и при сушке в камере усушка практически закончивается уже к концу вторoго период сушки. В целом можно сделать вывод о том , что при ризких температурах сушки абсалютная скорость сушки практически постоянно в тичение всех периодов сушки, при увеличении температуры сушки имеют место

существенные отличия - скорость сушки и в третьего периоде резко падает, а сушка идёт практически до оканчания сушки.

Рассмотрим теперь вопрос о продолжительности сушки в третьего периоде. Времена начала и конца в третьего периоде сушки, полученные на основе экспрементальных исследование приведины в табл.13 . Там же, даны значения влагосодержания и влажности материала в момент окончание сушки.

Таблца 13

Время τ начала и конца третьего периода сушки в зависимости от температуры сушки $t_в$

Продукт	Режим	$\bar{U}_К$	$\omega_К, \%$	$t_B, °C$	τ_3^H сум	$\tau_3^К$ сум	$\Delta\tau$ сум
Виноград	Воздух	0,08	23,6	28	16,5	17,5	1
	Камера	0,044	17-18	44	4,8	7	2,2
Абрикос	Воздух	0,04	20	28	11,5	1	0,5
	Камера	0,04	20	44	6,8	9	2,2
Вишня	Воздух	0,04	19	28	12	14	2
	Камера	0,04	19	44	7,2	9,4	2,2

Из табл ,13 следует ,что в конце третьего периоде продолжительность сушки $\Delta\tau$ на открытой площадке в целом меньше ,чем при сушки в камере (при более высокой температуре). Эта закономерность отличается от тех , что мы имели в первом и на втором периодах, где с увеличением температуры сушки в отдельних периодах уменьшается. Это очевидно обсняется тем ,что с увеличением температуры сушки продукт подходит с большос влажностью (см,рис.14).

Аппроксимация данных по продолжительности сушки $\Delta\tau$ в третему периоде

от температуры сушки дает следуюшие зависимости виноград кишмиш чёрный.

$$\Delta\tau_3 = 1+0,075\cdot(t-28) \qquad (1.47)$$

абрикос

$$\Delta\tau_3 = 0,5+0,108\cdot(t-28) \qquad (1.48)$$

вишня $$\Delta\tau_3 = 2+0,012\cdot(t-28) \qquad (1.49)$$

Получение аналогичных зависимостей для абсальютной скорости сушки в третьем периоде в общем случае не представляется вожможным, т,к, в конце третьего периоде она является функцией не только температуры сушки, но и площади поверхности продукта. В качестве первого приближениея для скорости сушки в третьего периоде на основе проведенного выше анализа можно принять, что она равна полусумме ее значеней в начале и в конце третьего периода ,тогда для винограда кишмиш черный.

$$N_{cp}=[6+0.375\cdot(t-28)]\cdot 10^{-3}.[\frac{кг}{м^2.ч}] \qquad (1.50)$$

абрикоса

$$N_{cp}=[11+0.0,719\cdot(t-28)]\cdot 10^{-3}.[\frac{кг}{м^2.ч}] \qquad (1.51)$$

вишни

$$N_{cp}=[3+0.262\cdot(t-28)]\cdot 10^{-3}.[\frac{кг}{м^2.ч}] \qquad (1.52)$$

ВЫВОДЫ

Проделанной работы можно сделать следующие выводы:

Для условий низкотемпратурной сушки определеные соотношения между количествами тепла идищими на нагрев материала и испарения воды из материала. Показано, что в зависимости от влажности воздуха

имеется достаточно широкая область минимальных температур нагрева продукта с которых начинается процесс сушки.

Проведены экспериментальные исследования процесса сушки различных продуктов в зависимости от температуры сушильного агента.

На основе проведенных исследований определены эмпирические зависимости для скорости и продолжительности сушки. Определены особенности сушки в различных периодах процесса сушки. В частности, для всех исследованных продуктов имеет место четкая граница между периодами сушки, показано , что с увеличением температуры сушки граница первого периода наступает при большей влажности, также получено, что абсолютная скорость сушки продуктов практически остается постоянной в течении всего процесса сушки. Полученные зависимости представлены в виде удобном для практического использования – даны как функции температуры сушильного агента.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ЛИТЕРАТУРЕ.

1. Гинзбург А.С. Сушка пищевых продуктов, Пише промздат, 1960.
2. Кавказов Ю.Л. Основы технологии сушки, Всесоюзное научно-техническое совешание по сушке, Профиздат, 1958.
3. Мирзаев М.М. Состояние и перспективы научных исследований по сушке и переработки плодово – виноградной продукции. В сб. Вопросы сушки и переработки плодово – виноградной продукции. Ташкент. Из-во МСХ УзССР, 1981, с.3-9.
4. В.П.Исаченко, В.А.Осипова, А.С.Сукомич, Теплопередача, М., «Энергия», 1975, ст. 94
5. Теплотехника и теплоэнергетика КН.2, Справочник, М., «Энергоавтомиздат», 1988, с. 203
6. М.А.Михеев, И.М.Михеева Основы теплопередачи. М., Энергия, 1973. с.250
7. М.П.Каминушкин Насосы и вентиляторы – М., Висшая школа, 1987, 176 с.
8. Г.К.Филоненко, М.А.Гришин, Я.М.Гольденберк, В.К.Коссек, Сушка пишевых растительных материалов, М., Пишевая промьишленность, 1971 г.
9. Захидовч Р.А., Киргизбаев Д.А., Орлова Н.И., Нуриддинов Х.Н. «Комбинированная сушильная установка» Гелиотехника 1988, №4 с.60-64.
10. Захидовч Р.А., Киргизбаев Д.А., Нуриддинов Х.Н. «Мева ва узум куритишда кушма куёш қуритгичидан фойдаланиш.» ”Янги техника” 1990.№ 6. 6-7б.
11. htt://sushilki/ru info29/html
12. www/google/ru
13. www/lambler/ru
14. www/ziyonet.uz

ОГЛАВЛЕНИЕ

Бухарский институт управления природными ресурсами национального исследовательского университета Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства

Редактор **М.Назаров**

Корректор **Ҳ.Жўраев**

Технический редактор **Ш.Имомов**

Подписано к печати 20.08. 2022. Формат 60x84 1/16

Офсетным способом. 3.5 усл- печ. л.

Тираж 100 экз